

건설자동화 기술의 현황 및 전망

글 | 강경인 고려대학교 건축공학과 교수, 공학대학원 부원장 02-3290-3336 이메일 | kikang@korea.ac.kr

01 서언

21세기의 정보통신기술과 컴퓨터의 발달은 전 산업에 걸쳐 다양한 변화를 가져왔다. 다양한 기술의 발전은 3D 산업으로 인식되어 지던 건설 산업 역시 타산업과 마찬가지로 기계화·고효율화·기술집약화 등을 위한 변화가 이뤄지고 있는 것이다. 이러한 변화에 따라 건설 산업의 기술력 향상을 위한 노력의 일환으로 다양한 연구와 논의가 이루어지고 있으며, 그 중 가장 대표적인 것이 “건설자동화”라 할 수 있다. 건설자동화에 대한 논의가 이루어지는 것은 건설자동화를 통하여 건설시설물의 품질과 생산성을 높이고 작업현장의 안전성을 확보할 수 있기 때문일 것이다. 그러나 건설자동화에 대한 다양한 요구에도 불구하고, 타 산업과 연계된 복합적인 기술이 요구되어진다는 점과 건설자동화에 대한 전문지식 부족, 기술개발을 위한 비용 및 연구 개발 결과에 따른 위험 부담이라는 다양한 요인에 의해 활발한 연구가 이루어지는데 있어 어려움이 있다.

이에 본고는 기존에 연구되었던 건설자동화의 개념을 되짚어 보고, 국내외의 건설자동화 사례를 바탕으로 고층화·대형화 되어가는 건설의 특성에 맞추어 개발되고 있는 건설자동화의 성과를 고찰해 보고자한다. 또한 이를 통해 건설자동화의 활성화를 위한 연구에 있어 우선 고려되어야 할 점들을 제시하고자 한다.

02 “건설자동화”의 의미

이준복(2003)은 건설자동화(construction automation)의 개념을 정의함에 있어 컴퓨터 및 전산기술을 이용한 정보화, 통합 관리시스템화 등 소프트웨어적인 기술과 시공이 성력화, 기계화를 위한 자동·반자동 형태의 로봇 개발 등 하드웨어적인 기술을 포함한다고 정의하였다.

이러한 개념에 의하면 현재 건설정보화를 위한 건설 CALS, CIC 구축 등을 통하여 건설프로세스별(기획, 설계, 시공, 유지관리 등) 업무의 전산화, 프로세스간의 정보의 교류 및 공유를 위한 시

스템 구축 등도 이의 범주에서 다루어 질수 있다. 그러나 통상적으로 건설자동화라 함은 정보화의 측면보다는 고소작업 및 중량물 취급 등 열악한 작업환경과 인력 의존도가 높은 건설 공사의 근로자 안전문제 및 작업환경 개선과 생산성 정체 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 인력지원 또는 인력대체 하드웨어적인 접근을 다루는 것이 일반적이다.

이러한 관점에서 건설자동건설자동화는 원격조종, 통신, 수치제어 등 콘트롤, 다양한 센서에 의한 자료수집 등의 기능을 포함한 인력대체형(robotic) 또는 인력과 장비가 협력하는 형태(man-machine interface)의 건설 장비 개발을 의미하게 된다. 이하에서는 이러한 하드웨어적인 접근을 토대로 건설자동화의 기술개발 동향과 그 시사점을 고찰해 보고자 한다.

03 국외 건설자동화 연구

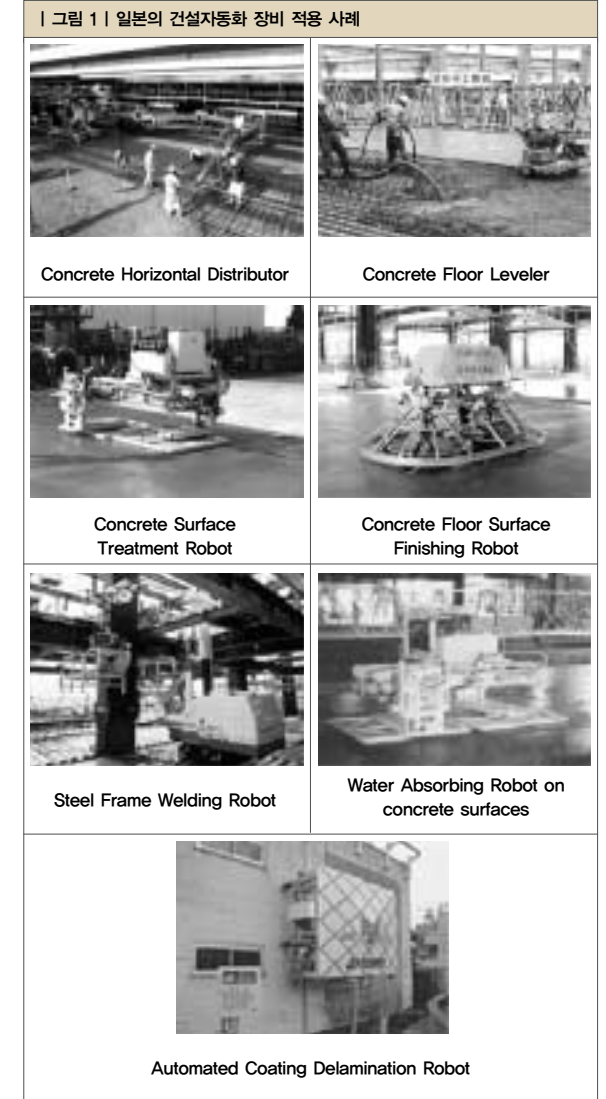
1) 일본

일본에서는 열악한 작업환경을 개선하기 위해 그동안 건설공사의 자동화·기계화에 대하여 많은 관심과 노력을 기울여 왔으며, 현재 건설자동화 부문에 있어 가장 많은 연구·개발이 이루어져 있다. 1970년대 후반부터 시작한 일본의 건설자동화 연구는 미국이나 유럽과는 다르게 대기업 중심으로 자동화 기술개발이 이루어져 왔다.

1980년대 들어 기존 건설기계에 자동제어장치를 부착한 반자동 건설기계개발의 시도가 성과를 거두면서 건설자동화에 박차를 가하기 시작했다. 최근 IT기술의 발전에 따른 건설용 로봇의 연구개발이 점차 활기를 띠고 있으며, <그림 1>에서 보는 것과 같이 건설 현장에서 사용되는 평면 콘크리트 타설 로봇(Horizontal Concrete Distributor), 콘크리트 수평 측량로봇(Concrete Floor Leveler), 콘크리트 바닥표면 면처리로봇(Concrete Surface Treatment Robot), 콘크리트 바닥표면 마감로봇(Concrete Floor Surface Finishing Robots), 철골구조 용접로봇(Steel Frame Welding Robots), 콘크리트 바닥표면 워터흡수 로봇(Water Absorbing Robot on Concrete Surfaces) 등이 실용화 단계에 접어들고 있다.

또한, 무인시공자동화시스템의 상용화에 성공하였고, 그 사용성을 점차적으로 확대해 나가고 있는 추세이다. 즉 1990년대에 진행되었던 건설자동화 관련연구들은 실용성보다는 기업의 이미지

와 홍보의 측면이 존재했으나, 최근의 연구들은 기능인력의 부족을 보완하기 위한 실용적인 면이 강조되고 있는 특징이 있다.



2) 미국

일본의 대기업 위주의 건설자동화 개발과는 달리 미국은 NASA, NC State Univ. 등에서 위험하거나 특수한 환경에서의 작업을 위한 자동화 장비 및 로봇을 개발할 국가적 차원의 대형 프로젝트 형태로 1980년대부터 현재에 이르기까지 건설 자동화분야의 연구개발을 진행하고 있다. 건설자동화에 있어 미국은 초기에 노동



조합 등의 부정적인 시각으로 인하여 연구 개발에 큰 장애를 겪기도 하였다. 하지만, 건설로봇과 같은 인력 대체 장비의 개발을 통해 인명피해를 줄이고, 노무자의 작업 환경 개선, 숙련도, 기술력 등을 향상시킬 수 있다는 긍정적인 시각으로 전환되었다. 현재 여러 연구기관 및 대학에서 추진하고 있는 건설자동화 연구의 주요 연구개발 항목은 (1) MMI를 이용한 토공사장비 (2) 위험작업환경에서의 작업 기능로봇 (3) 다목적 매니퓰레이터 개발 (4) 도로면 및 교량유지 보수 자동화 로봇 개발 (5) 인간공학적 작업개선을 위한 도구 및 장비의 개발 등으로 정리할 수 있다. 최근 3D 기술을 접목하여 신속·정확한 작업환경을 모델링하여 그 결과를 건설 자동화 장비운용에 활용하기 위한 기술 개발에도 지대한 관심을 가지고 연구를 진행하여 가시적인 성과를 거두고 있는 실정이다. 이와 같은 연구 개발은 소형화 기술, 센싱기술, 통신기술, GIS의 기술진보가 있기에 가능하며 그 개발 속도가 더욱 더 빨라지고

있다. 또한, 개발로봇 또한 첨단 컴퓨터 및 전자통신기술의 급속한 발달에 힘입어 보다 정밀하고 소형화되는 추세이다.

04 우리나라의 건설자동화 연구

국내에서는 1980~1990년대에 한국건설기술연구원에서 건설 자동화를 위한 기술동향 분석과 개발전략을 위한 로드맵 작성을 수행하였으며, 최근 다음과 같은 장비들이 실용화되고 있다.

(1) 두부정리 및 PHC 파일연직도 자동제어 장비

두부정리 및 파일연직도 자동제어 장비는 PHC 파일 항타시 파일의 연직도를 자동 제어함과 동시에 두부정리 작업을 위한 현장작업을 줄이고 안전성을 향상시키기 위해 개발되었다. 이 자동화장비는 현재 프로토타입 개발 이후 시제품 제작을 위한 수정단계에 있는데 연직도 제어를 위해 파일 드래

이버가 지표면과 수직을 유지하면서 파일 매입을 위한 굴착 작업을 수행할 수 있도록 설계되었다.

또한 두부정리 기능을 위해 기존 재래식 작업에서 노무자에 의해 수행되었던 그라인딩 작업을 자동으로 수행할 수 있으며, 원뿔형 및 블레이드 말단 장치가 장착된 4방향 유압 압쇄 장치의 사용으로 PHC 파일을 종방향 균열없이 파쇄할 수 있도록 설계·제작되었다(그림 2).

그림 2 | 두부정리 자동화 장비



(2) 미니굴삭 장비를 활용한 초고층 빌딩 커튼월 시공장비

빌딩 건설에 있어 최근의 추세는 고층화, 대형화, 복잡화로 대변될 수 있으며 커튼월 등과 같은 자재의 무게 또한 점차 중량화되어 가고 있다. 일반적으로 커튼 월 시공을 이한 장비로는 원치와 크레인이 요구되며 약 7명 정도의 노무자가 투입되고 있으나, 커튼월설치 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 흡입 장치가 장착된 다자유도(multi-DOF) 미니 굴삭 로봇이 개발되었으며 건설 현장에 성공적으로 적용된 바 있다(그림 3). 개발 로봇의 활용은 커튼 월 시공 공정의 단순화, 공기 단축 및 안전성향상을 물론 투입 노무자의 수를 기존 7명에서 2명으로 줄임으로써 생산성 향상 및 노무자 감소를 통한 원가절감에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 3 | 초고층 빌딩커튼 월 시공 미니굴삭 로봇



(3) 철골구조 용접 로봇

철골생산의 효율화와 고품질화를 목적으로 로봇에 의한 용접 시공이 빈번하게 실시되어지고 있다. 로봇은 용접기술자에 비해 생산성이 높고 내부결함의 발생이 적으며 외관과 품질이 우수한 장점을 지니는데, 최근 수직 용접부를 포함하는 로봇의 용접적용 범위가 확대되면서 생산성을 높이기 위해 고층 건물의 자동화 시공에 적용할 수 있는 로봇 용접시공 기술 개발이 이루어지고 있다.

보를 관통하는 기둥과 보와의 이음부는 아래보기 용접으로 시공한 후 기둥에 조립하는 방식을 사용하였으나, 용접구조물을 뒤집고 교환하는 작업에 시간이 소요되어서 지금과 같은 로봇 아래보기 용접장식으로는 용접능률을 높일 수가 없다. 이에 반해 수직 용접은 기둥과 보의 접합부를 뒤집는 작업이 필요 없으므로 용접작업의 무인화가 가능하고 용접품질과 가동률을 향상시킬 수 있다.

(4) 콘크리트하수관 배설용 원격자동화 장비 개발

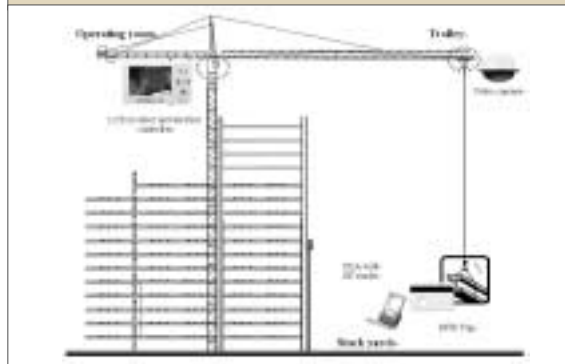
콘크리트 하수관 배설용 원격자동화 장비는 콘크리트하수관(이하 흠관) 매설시 터파기 사면의 붕괴위험 상존하며 흠관 이동 중 추락 및 충돌 사고위험으로 근로자 안전이 위협 받고 있다는 점에 착안하여 개발되었다.

이 장비는 ① 매니퓰레이터(스튜어트플랫폼, 삽입부, 집게부로 구성), ② 비디오 비전시스템(카메라, 모니터로 구성), ③ GPS 및 CAD시스템, ④ 컨트롤러(산업용컴퓨터, 합성자기동조제어 알고리즘)로 구성되어 있는데, 기존 굴삭기의 버킷을 떼어내고 개발장비를 부착하여 사용하며 기존 굴삭기로부터 유압 및 컨트롤전원 공급받는 특징이 있다(그림 4).



를 계측하는 각도 계측장치 및 계측 데이터 처리 알고리즘을 통한 후의 이동 량을 산출하여, 목적위치까지 후크의 이동시키는 지능형 타워 크레인 제어 시스템을 제안하였다. 이러한 연구들은 작업 속도를 향상시키고, 신호수의 잘못된 신호에 의한 안전사고 및 작업시간의 지연 등을 방지하는 효과를 기대할 수 있다. 최근 RFID 및 GPS 기술을 이용하여 자동화 되어가는 타워크레인의 개념은 아래 <그림 5>와 같다.

그림 5 | 타워크레인의 반자동화 시스템(조훈희 외, 2004)



하지 않는다는 점이 자주 지적되고 있다. 따라서 설계 단계에서부터 시공의 자동화·기계화에 적합하도록 부자재의 표준화 및 규격화, 공장 생산화, 각종 시방서의 표준화 시키는 노력과 아울러 설계, 시공, 유지, 관리 등 건설 생산의 전 과정에 걸쳐서 적절한 자동화 시스템을 구축하고, 상호 유기적인 연계 아래 기술 개발을 진행할 필요가 있다.

둘째, 자동화 가능 분야 파악과 경제적 타당성 예측이 필요하다. 인력 수요가 많은 공종과 전문성 및 정확성이 요구되는 작업의 기능 분야 파악이 우선되어야 하며, 또한 장비를 도입함으로써 발생하는 초기 투자 비용, 장비의 일일소요 비용, 연간 유지보수 비용 등을 고려하고 편익비용률(Benefit/Cost)을 통해 인력 감소에 따른 이익 분석을 분명히 고려해야 한다.

셋째, 수요의 파악에 따른 마스터 플랜의 작성이 요구된다. 효율적인 생산시스템의 구축을 위한 기술선도형 접근방법의 마스터 플랜의 작성이 요구된다. 작성된 마스터 플랜을 기반으로 중장기적 안목에서 각계 전문가들이 함께 기술적 로드맵과 세부 실천계획을 세워야 할 것이며, 이에 따른 중장기 목표는 체계적이고 효율적인 투자 및 연구 개발의 밑거름이 될 것이다.

위에서 언급한 사항을 고려하고 현장 중심의 수요분석과 산·학·연 컨소시엄을 통한 적극적인 연구개발 및 국가적 차원의 지원과 노하우의 축적이 이루어진다면 변화하는 건설환경에 대응하기 위해 건설 자동화 선진국으로 거듭날 수 있을 것이다. 특히, 현재 우리나라는 IT(Information Technology)의 강대국이라는 이점을 적극적으로 활용한다면 건설 산업의 자동화 / 기계화 도입과 활성화에 있어 단 기간내에 좋은 효과를 거둘 것으로 판단된다. **S**

그림 4 | 콘크리트 하수관 배설용 원격자동 장비



(5) 타워크레인의 자동화

고층 건물의 시공에 있어 타워크레인은 건축공사 현장에서 필수적인 장비로 인식이 되고 있다. 타워 크레인 작업시 가장 많은 작업 시간을 요구하는 것은 작업 기중 물을 기중하기 위해 타워 크레인의 후크(hook)를 기중 대상물체에 접근시키는 과정과 기중되어 이동시킨 기중 물을 적절한 위치에 놓는 작업공정이다. 이 작업은 매우 높은 수준의 기능을 요구하는 부분이자 안전에도 가장 영향을 미치는 부분이다. 신호수를

두거나 지상에서 무선조종 장치를 이용하여 원격에서 타워크레인인 기중 물을 전체적으로 조망하면서 작동하는 방식이 채택되기도 하였으나, 인건비 상승, 절차상의 번거로움, 기중 물을 내려놓을 위치까지 조종원의 도보 이동이 필요하다는 어려움이 있었다.

이런 어려움을 극복하고 타워크레인을 효율적으로 운용하고자 자동화에 대한 연구가 일부 건설회사와 연구기관에 의해 이루어져 왔다. 대표적인 예로는 Genetic Algorithm을 이용한 타워크레인의 양중 합리화 방안(이용균 외 3명, 2004), GPS 및 머신비전을 이용한 타워크레인 양중 효율화 연구(이정호 외 3명) 등으로 이 연구들은 타워 크레인의 모델링을 통한 시뮬레이션 차원의 연구가 이루어 졌다. 또한 위치 측정 장치와 운반제어 알고리즘을 이용한 타워크레인의 반자동화 시스템 개발(유승남 외 2명, 2005)의 연구에서는 타워크레인의 동적 최적화와 아울러 타워크레인의 조종석에서 기중 물체까지의 거리를 계측하는 거리계측 장치와 3차원 각도

05 결론

국내의 건설자동화는 현재까지 주로 단일 공정 혹은 작업을 수행하는 자동화 장비가 연구되어 현장 적용성 실험 및 실용화 가능성을 진단하는 단계에 와 있다고 볼 수 있다. 이와 같은 국내의 성과는 미국, 일본 등의 투자규모, 로봇 개발 및 상용화 건수에 비교해 볼 때 그 수준은 매우 미약하다고 볼 수 있다.

그러나 국내에서도 건설안전과 생산성 문제, 경제성 확보, 품질 향상을 위해 자동화 분야의 연구 개발이 부족하나마 일부 진행되어 왔으며, 2000년 이후 해외에서 건설 자동화를 전공한 신진 과학자들이 국내에 유입되면서 산·학·연 컨소시엄 구성을 통해 건설 자동화기술 개발에 관한 연구가 다시 활기를 찾고 있는 모습이다.

이러한 건설 자동화 기술이 실효를 거두기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 점을 고려하여야 한다. 첫째, 설계단계에서부터 자동화 도입이 필요하다. 현재 선진국에 비해 건설공사의 자동화가 미흡한 원인에 대해서는 설계 단계에서 기계화나 자동화를 고려

참고문헌

1. 이준복, 국내외 건설자동화의 연구개발 현황 및 미래 전망, 건설관리 기술과 동향, (2003-11)
2. 김영석, 자동화의 총화 건설 로봇... 기술 개발 어디까지 왔나, 2004.12
3. 김환태, 건축철골에서 로봇의 수직 용접에 대하여, 한국과학기술정보연구원
4. 장현승, 우성권, 건설공사의 자동화·기계화의 효과 및 확대 방안, 한국건설산업연구원, 2003.4
5. 이승열 외 3명, 다자유도로봇 기반 커튼월 시공 자동화 장비의 프로토타입 개발, 대한건축학회 논문집(구조계), v.21 n.8(2005-08)
6. 유승남 외 2명, 위치 측정 장치와 운반제어 알고리즘을 이용한 타워크레인의 반자동화 시스템 개발, 대한건축학회 논문집(구조계), v.21 n.12(2005-12)
7. www.takenaka.co.jp