

4.0 산업혁명 기술을 융합한 지능형 건설자동화 체제



이동은 경북대학교 교수, 지능형건설자동화연구센터 센터장, dolee@knu.ac.kr

KICEM

I. 배경

건설 프로젝트는 대규모 인력, 자재 및 장비가 요구되고, 기능공의 숙련도에 크게 의존하고 있다. 또한, 건설현장에 젊은 인력의 유입이 급감하고 있어 기능인력의 고령화 문제가 심화되고 있다. 40대 이상의 건설인력 비율은 2001년에 62.5%에서 2015년에 83.2%로 급증하였고, 2018년 현재 약 11만5천명의 숙련공이 부족한 것으로 추정된다. 이처럼 가속화되는 건설 숙련공 부족 문제에 대처하기 위해 정부는 인건비가 저렴한 외국인 근로자에게 노동시장을 개방하는 노동정책을 유지해왔다. 물론 이러한 노동정책이 단기적 수요를 충족할 수 있지만, 장기적 측면에서 건설 노동시장 자체가 외국인에 잠식되고, 의사소통 문제로 인한 생산성 저하 및 안전사고 증가 등 악순환이 야기된다. 또한 외국 노동자들은 주로 단순 반복작업을 담당하는 보조공이 주를 이루고 있어 생산성과 품질을 견인하는 기술중심의 숙련공 부족문제는 근본적으로 해결되지 않는다. 주요 건설강국들은 기능인력부족 문제에 대응하기 위해 4차 산업혁명기술들을 건설에 융합하여 생산성 혁명을 달성하는 새로운 기술정책을 추진하고 있다.

일본은 건설인력 감소 문제를 해결하기 위해 건설자동화 및 로봇기술을 개발하여 보급하고 있다. 일본의 주요 건설사들은 3D기반 설계/시공관리, 사물인터넷기술(IoT)기반 공정/품질관리, 전문공정용 로봇 등을 개발하고 있다. 미국 및 유럽 각국도 기능공 부족 문제해결과 생산성 혁명을 위해 로봇기반 시공기술을 개발하고 있다. 단적인 예로 볼보(Volvo)사는 골재 채취, 적재 및 이동 작업을 무인화한 채석장비를 개발/시연하는 단계에 이르렀다. 이처럼 건설강국들은 관 주도형 컨소시엄을 구성하거나 민간 주도형 Startup funding을 통해 집적된 자본을 건

설 생산성 혁명기술, 즉 건설 4.0 핵심기술로 변환하는 노력을 가속화하고 있다. 향후 이들과의 건설 생산성 혁명기술 격차는 건설조달원가의 격차로 현실화되며, 대규모 글로벌 프로젝트의 국가 브랜드 파워의 원천이 될 것으로 예상된다. 4차 산업혁명 기술을 기반으로 한 집약적이고 장기적인 차원의 건설 생산성 혁명기술들을 연구 및 개발하지 않을 경우, 해외 건설시장에서 도태되는 것은 자명할 것이다. 본고는 국내외 지능형 건설자동화 정책 및 기술동향을 분석하고 건설 4.0 기술을 시공 및 건설 분야에 응용하여 건설 생산성을 극적으로 향상시키는 지능형 로봇기반 소인수 시공체제를 제시한다.

II. 국내외 지능형 건설자동화 정책 및 기술 동향

2.1 국내동향

국토교통부는 2017년 12월에 제6차 건설기술진흥 기본계획을 발표하여 건설기술정책 로드맵과 건설기술 발전 청사진을 제시하였다. 이는 2025년까지 건축물정보모형(BIM) 및 인공지능(AI) 등을 활용하여, 건설 노동생산성 40% 향상, 사망자 수 30% 감소, 건설 근로시간 20% 단축 등 야심 찬 목표를 설정했다. 안전보건공단 및 대한안전교육협회 등은 가상/증강현실(VR/AR) 기술을 활용하여 건설 안전사고 가상체험 플랫폼을 개발하고 있으며, 대한토목학회는 현장사고 사례(예, 추락, 낙하, 협착 등)를 교육하는 콘텐츠를 구현하고 있다. 또한, VR기반 프리콘(PreCon) 체제를 적용하여 설계변경을 최소화하는 체제를 실용화하고 있다. 이처럼 건설 AR/VR 기술은 설계 및 시공단계에 시험 적용되고 있다. 그에 더해 건설 로봇시장의 경쟁력을 갖추기 위해 '로봇융합 얼라이언스(2017.3)'가 발족되어 로봇시장 활성화, 제도개선, 공공수요 발굴, 보급 및 확산을 추진

하기 시작했다. 반면, 건설인력(기능공 및 보조공)의 시공활동에 특화하여 생산성 혁명을 달성하는 건설 4.0 기술을 개발하는 노력은 결여되어 있다. 현장인지 및 자율주행이 탑재된 지능형 건설협동로봇 기술이 절실한 것으로 받아들여진다.

2.2 해외동향

일본 국토교통성은 2025년까지 현행 건설시공 수준대비 생산성 20% 향상을 목표로 하는 건설 생산성혁신 프로젝트, 즉 i-Construction을 추진 중이다. 2016년 4월에는 ICT토공의 전면실시를 위해 ICT 적용에 관한 15개 기준을 발표하였고, 토공사의 생애주기(측량, 설계, 시공, 검사)에 ICT 적용을 가속화하고 있다. 시미즈 건설은 지능형 로봇기반 시공 체제인 '시미즈 Smart Site'을 계획하였다. 이는 건설현장 전천후 공사지원 덮개, 양중봇(Exter), 철골기동 용접봇(Robo-Welder), 천장/바닥재 시공봇(Robo-Buddy), 수평·수직 운반봇(Robo-Carrier)을 포함한다. 코야나기 건설은 설계, 시공 및 수선 등의 계획에 AR/VR기술을 적용하고, 프로젝트 참여인원들 간의 커뮤니케이션 효율을 극대화하는 홀로스트럭션(Holostruction) 프로젝트를 추진 중이다. 영국은 4차 산업혁명에 대비하기 위한 중장기 정책으로 '사회기반시설의 생산성 향상 및 유지관리비용 저감'을 추진하고 있다. 미국은 혁신전략 9대 전략 중 하나로 스마트시티를 선정하여 연구개발을 진행 중이며, Construction Robotics 사는 건설현장에 특화된 로봇(예, 조적용 SAM100)의 상용화를 추진하고 있다. 호주 Fastbrick Robotics 사 또한 조

적공정에 특화된 협동로봇인 Hadrian-X를 개발하였다. 이 로봇들의 생산성은 각각 기능공 대비 5배 및 10배로 추정된다. 이처럼 주요 건설강국들은 건설기능 및 협동로봇 개발에 집중하여 시공 생산성의 극적 향상을 도모하고, 특정 공종 및 공법에 구애받지 않는 범용로봇으로의 확장을 모색하고 있다. 현재 국내 건설자동화 기술개발 현실은 몇몇 특정 기능공이 수행하는 작업을 대체하는 수준에 머물러 있는 것으로 관찰된다. 따라서, 다음장은 시공단계에 특화하여 건설 생산성 혁명을 달성하는데 기여가 가능한 4차 산업혁명 기술들을 고찰하고 이들이 응용방법 및 적용범위에 대해 제시한다.

III. 인공지능 및 로봇기반 소인수 건설시공 체제

건설 생산성혁명을 달성하는 미래 핵심 건설기술들을 선점하기 위해서는 생산성에 영향을 미치는 중요 요소기술들을 정의하고, 각 요소기술들을 최적 조합하는 체제가 필요하다. 본고는 현행 인력중심적 건설생산과정을 미래건설에 지능화·무인화·자동화 프로세스로 혁신하는 3대 미래 건설생산 체제, 즉 (1)지능형 건설관리 체제, 2)장비/인력 생력화 체제, 3)지능형 건설보증 체제를 소개한다(그림 1참조).

3.1 지능형 건설관리 체제

건설 프로젝트의 성공적 조달은 주요 성과지표(진도, 품질, 안전)에 대한 관리역량에 의해 좌우된다. 그러나 건설산업의 사

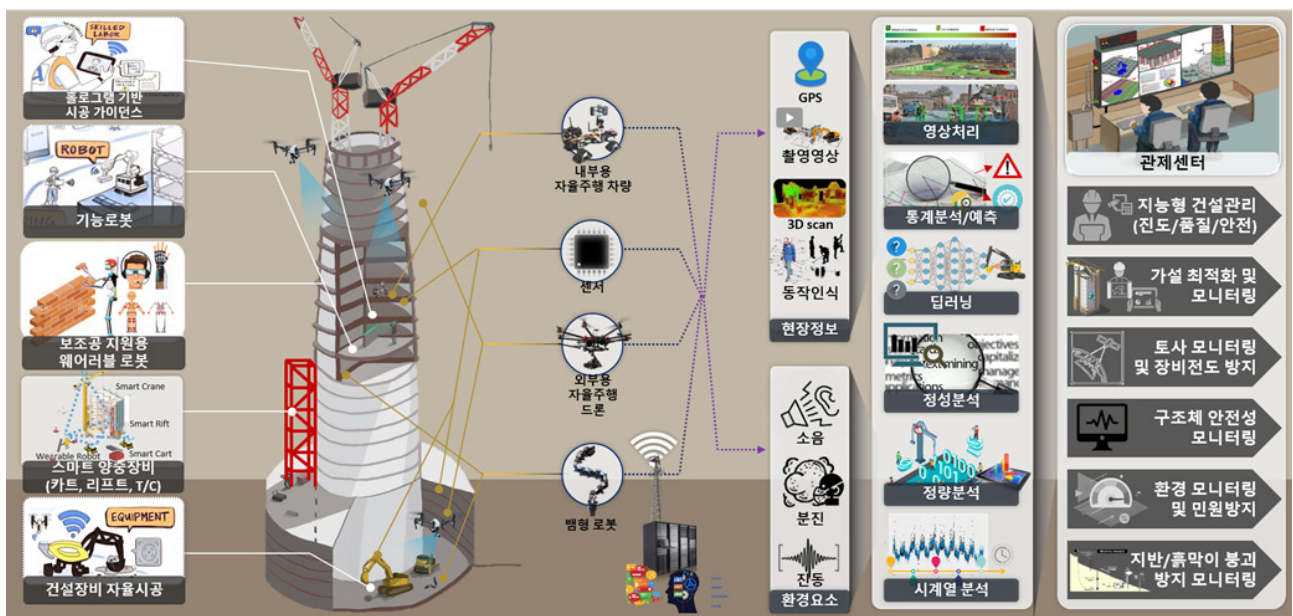


그림 1. 인공지능 및 로봇기반 소인수 건설시공 체제

회계제적 한계로 인해 충분한 관리인력 확보에 많은 어려움이 있다. 따라서 소수의 인력(또는 무인)으로 성과지표(예, 진도, 품질 및 안전)를 초(분)단위로 집중 관리하는 체제가 요구된다. 이를 위해서는 1) 관리자의 신체 및 인지기관을 대신하여 현장 정보를 실시간 수집하는 무인정보수집장치(지능형 UAV, UGV 등), 2) 관리자의 지능을 대신하여 수집된 정보를 분석하는 정보분석 자동화(영상처리, 신호분석 등), 그리고 3) 분석된 정보를 성과지표 관리에 적용하는 현장관리 자동화 기술을 개발하는 것이 요구된다.

지능형 무인정보수집장치는 건설현장에서 관리자가 관여하지 않은 상태로 자율주행하며 시공부분품(예, 기둥, 벽체, 커튼 월 등)들의 진도, 품질 및 안전에 관한 정보를 습득할 수 있다. 이를 위해서는 정지, 회전 및 회피주행(혹은 비행) 등을 자율적으로 수행하는 정밀 정보수집 기술개발이 필수적이다.

정보분석 자동화 기술은 수집된 정보를 사용하여 1) 시공객체별 품질기준을 스스로 DB에서 탐색하여 이를 수치화하고, 2) 불안정한 현장조건(침하, 흠막이벽체 변형 등) 및 불안정한 시공환경(예, 개구부, 돌출물)을 실시간 감지하며, 3) 시공객체의 변화를 자동으로 인지할 수 있다.

관리업무 자동화 기술은 1) 시공부분품의 품질적부를 평가하며 품질부적격 발생 시 신속한 후속조치가 이루어 지도록 부적합 보고서를 발행하고, 2) 현장내 시시각각 변하는 불안정한 작업구역(Hazard zone)을 시각화하여 신속한 조치를 발의하며, 3) 시공객체별 표준 진도율 산정기준 및 절차에 따라 진도율 산정 및 시공단계 판별을 자동화한다.

3.2 장비 및 인력 생력화 체제

건설산업은 인적자원의 숙련도에 대한 의존도가 높고, 노무비가 총 공사비의 30~40%를 차지한다. 따라서 노무생산성 혁명기술은 건설 생산성 경쟁력을 확보하는 핵심기술분야이다. 장비 집약적인 토공사의 생산성은 측량기사 및 장비기사의 개인적 능력에 의해 결정되기 때문에 건설사는 숙련된 장비기사 확보를 최우선시한다. 토공분야는 타 공정에 비해 장비인력 동기화 및 생력화 기술들이 상대적으로 발전속도가 빠르다. 반면, 건설현장에서 중량물 운반의 경우, 보조공과 운송장비(크레인)가 협업체제로 운용되지만 보조공의 신체적 한계와 장비 간의 비동기화로 인해 생산성저하, 품질부적합 및 안전사고 문제가 존재한다. 따라서, 장비/인력 지능동기화 및 보조공 생력화 체제는 건설 생산성을 극적으로 혁신시키기 위해 1) 지능형 건설 장비 자동화, 2) 비숙련공 지원을 위한 홀로그램 기반 3차원 시

공 가이던스, 3) 보조공 생력화를 위한 웨어러블 로봇 및 지능형 운반·양중 장비 동기화 기술개발이 요구된다.

지능형 건설자동화 장비는 드론 및 3D 레이저 스캐너를 융합한 하이브리드 좌표정보 취득 기술, 작업유형별 장비의 표준동작 정의, 획득한 좌표정보를 사용하여 작업영역 및 적절한 장비 동작 규명, 예상 작업시간 추정용 장비모션 최적화 알고리즘, 현장에 투입된 장비현황 및 작업내역 시각화 기술, 그리고 장비 운용 최적화를 지원하는 군단제어기술을 포함한다.

비숙련공 지원을 위한 홀로그램 기반 3차원 시공 가이던스 기술은 시공객체 라이브러리를 표준화하고, 실시간 객체인식 기술 및 작업내용(작업순서, 위치 및 방법 등)을 현장에 투영하는 3차원 시각화 기술이다. 이는 가상공간의 3D모델객체와 현실공간의 실제객체를 1:1로 대응 시키는 좌표체계 참조(Referencing) 기술, 소정의 위치에 객체를 투사하는 중첩(Overlaying) 기술, 가상훈련 콘텐츠 투영 등 현장 적용성을 높이는 원천기술을 제공한다.

보조공 생력화를 위한 웨어러블 로봇 및 지능형 운반·양중 동기화 기술은 보조공의 육체작업을 지원하는 웨어러블 로봇의 고도화, 기능(미장, 조적, 도장, 도배) 특화 로봇, 중량물 수평운반용 스마트 카트, 중량물 수직인양 지능형 크레인 및 리프트 동기화 기술로 구성된다. 이들 웨어러블 보조공로봇, 카트, 리프트 및 크레인은 유기적으로 지능 동기화되어 하나의 생력화 체제를 구현되어 장비노무 협업생산성을 극대화하는 체제를 구성한다.

3.3 지능형 건설보증 체제

건설현장은 다양한 환경부하(예, 온실가스, 분진, 소음, 진동 등)를 발생하며, 이는 민원을 촉발한다. 시공 중 지반, 구조체 및 가설물(예, 형틀)의 구조적 안전성은 시시각각 변하며, 예상하지 못한 외부자극에 의한 구조물 및 가시설 붕괴는 인명손실 및 공사중단을 유발하여 생산성을 급감 시킨다. 따라서 공사중단을 방지하기 위해서는 1) 건설현장의 환경성능, 2) 구조체 및 가설물의 안전성, 3) 지반 및 흠막이의 안전성을 실시간으로 보증하는 기술개발이 요구된다.

건설현장의 환경성능 모니터링 및 대응 기술은 건설환경유해요인(소음·진동·분진)을 실시간으로 모니터링하여 환경성능을 평가하며, 유해요인별 시정조치를 적시에 발의함으로써, 건설현장의 환경성능을 실시간 보증하는 기술이다. 이 기술은 센서 네트워크 기술을 이용하여 건설현장의 환경속성들을 실시간 모니터링하고, 인공지능기반 데이터 분석기술을 이용하여 환경

성능을 실시간 평가한다. 이는 현장에 특화된 환경성능 개선 방안을 수립하도록 지원하며, 머신러닝을 이용하여 환경유해요인별 최적 개선대안을 실행하는 인지/자율/진화형 실시간 환경성능 개선 및 보증기술을 제공하여 건설 민원발생 요인을 선제적으로 배제하도록 지원한다.

구조체 및 가설물 안전성 보증기술은 ICT기술을 활용하여 시공 중 주요 구조부재와 가설물의 변위 및 변형을 실시간 획득하고, 이를 딥러닝 기반으로 구조 안전성을 평가 기술이다. 본 기술은 시공 중인 구조체 및 가설물의 구조 건전도 및 안전성을 자동으로 평가하며, 구조물 및 가설물의 붕괴에 선제적 대처방안을 제시한다.

지반 및 흙막이 안전성 보증기술은 센서 및 영상정보를 활용하여 지반 및 흙막이의 안전성을 지속적으로 모니터링하고, 위험지도를 실시간 시각화하여 관리자에게 제공하는 토공재해 배제 기술이다. 이 기술은 시공 중 지속적으로 생성되는 토공사관련 (비)정형정보(진도, 안전)와 현장시공 및 조건변화를 반영하여 실시간으로 토공현장 위치와 공정별로 위험도를 시각화하여 위험지도를 생성한다. 이는 지하공간 시공의 안전성을 확보하는 원천기술이다.

IV. 결론

본고는 지능형 건설자동화 기술들, 플랫폼들 및 통합체제를 제시하였다. 국내외 건설자동화 연구는 4차 산업혁명 기술들을 건설생산의 일부 분야에 국지적으로 적용되고 있다. 반면, 건설 프로젝트는 날로 대형화되고 복잡성이 커짐에 따라 기존과 차원이 다른 대규모의 인원 및 장비를 투입하도록 요구하며, 이에 수반하여 시공과정에서 발생하는 방대한 건설이력정보를 효율적으로 관리하는 능력이 요구된다. 따라서 본고는 건설생산 정보를 신속하게 수집, 해석 및 활용하여 건설 생산속도를 가속화하는 체제를 제시하였다. 이처럼 4차 산업혁명 요소기술들을 건설에 융합하여 생산성 혁명을 달성하는 것은 건설산업에 지속적인 성장동력을 확보하고, 고급형 일자리 및 새로운 시장 창출에 기여할 것으로 기대된다.

사사

(본 고는 2018년 과학기술정보통신부 선도연구센터(ERC) 지원사업의 재원으로 한국연구재단의 지원에 의해 수행되는 지능형건설자동화 연구센터(No. NRF-2018R1A5A1025137)의 사업임.)

참고문헌

- 1) 기술안전정책관, “제6차 건설기술진흥기본계획”, 국토교통부, 2017
- 2) 조재용, “4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 대응 전략 및 시사점”, 대한건설정책연구원, 2017