4차 산업혁명과 건설 자동화 혁신기술 - ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 현장 적용

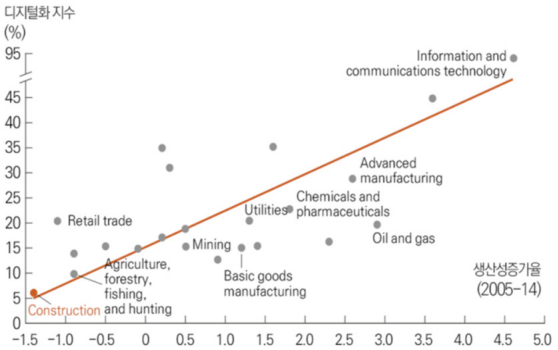
글 서종원 / 한양대학교 건설환경공학부 교수 / **전화** 02-2220-1482 / **E-mail** jseo@hanyang.ac.kr

1. 머리말

맥킨지글로벌연구소(MGI)의 조사 결과에 따르면 건설산업의 생산성은 전세계적으로 낮은 추세를 보인다. 최근 지난 20년간(1995~2015) 글로벌 국내총생산(GDP)의 96%를 차지하는 41개국의 전체 경제 생산성은 연평균 2.7%, 제조업은 3.6%의 성장률을 보였으나 건설산업의 성장률은 1%에 그쳤다. 시간이 흐를수록 생산성 격차는 다른 산업과 다르게 급격하게 벌어지고 있는 추세인데, 그 원인 중 하나는 건설산업이 전체 산업 중 디지털화 부분에 있어 꼴지 수준에 머물러 있다는 것에서 찾을 수 있다.

[그림 1] 에서와 같이 정보통신, 제조 등 디지털화 수준이 높은 산업일수록 생산성 증가율이 높게 나타난다. 즉 디지털화 수준과 산업 생산성은 양의 상관관계가 존재함을 알 수 있다. 그렇기에 건설산업은 국가 경제에서 큰 비중을 차지하지만 낮은 디지털화로 인한 낮은 생산성 증가율을 보인다(이상호, 2018).

[그림 1] 디지털화 수준과 생산성 증가의 상관관계(이상호, 2018)



건설공사의 대형화, 복잡화에 따라 기획, 설계단계에서부터 발주자, 시공자와의 다양한 협업이 필요해졌는데, BIM(Building Information Modeling)이 건설산업에서의 디지털화를 위한 대표적인 도구이다. BIM은 3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 형상, 속성 등을 정보로 표현하는 디지털 모델로 프로젝트 관계자들의 협업을 이끌어내는 플랫폼이면서, 4차 산업혁명시대 건설산업의 핵심적인 기반 기술이다. 여기에 가상현실(Virtual Reality, VR), 증강현실(Augmented Reality, AR)을 도입하여 프로젝트 관계자들이 기존의 2D와 3D도면의 검토를 보다 시각적으로, 효율적으로 수행하여 합리적인 의사교환 및 결정이 이루어질 수 있도록 할 수 있다. 또한 드론을 이용해 얻은 현장 측량데이터를 3D로 변환해 설계와 시공에 연계할 수도 있으며, 데이터화(IoT), 정보화(클라우드, 빅데이터), 지능화(AI), 스마트화(아날로그화) 등을 통해 4차 산업혁명 기반 기술을 이용한 스마트건설을 구현할 수 있다.

선진국의 경우 이미 건설 방식의 패러다임에 대한 변화가 진행되고 있다. 선진국에서는 공통적으로 4차 산업혁명에 따른 최신 기술들을 기반으로 한 건설산업 생산성 향상을 위한 여러 정책을 추진하고 있다. 일례로 영국의 경우 2013년 정부에서 추진하는 'Construction 2025' 정책을 통해 건설산업 혁신방안으로의 건설산업의 스마트화를 강조하고 있으며, 싱가폴은 건설 생산성 향상 추진을 위해 정부에서 추진하는 'Construction 21 운동'을 시작하였으며, 2016년에는 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심 기술 분야를 선정하고 기술개발 로드맵을 발표하였다(국토교통부, 2018).

그러나 국내의 건설산업의 경우, 글로벌 선도 수준과 상당한 격차가 존재한다. 과거의 경험 의존적 산업에서 지식·첨단 산업으로의 패러다임 전환에 따라 세계 건설시장에서의 국내 건설기술 경쟁력을 확보하고, 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를

위해 건설시공 분야에서의 장비 지능화·자동화 혁신 기술은 매우 필요하다.

이에 본 고는 건설 기능인력-장비 협업체제의 실시간 동기화를 실현하는 ICT 기반 건설자원 생력화 기술에 대해 소개하고, 이를 실제 건설현장에 적용한 사례와 함께 그 효과를 설명하고자 한다.

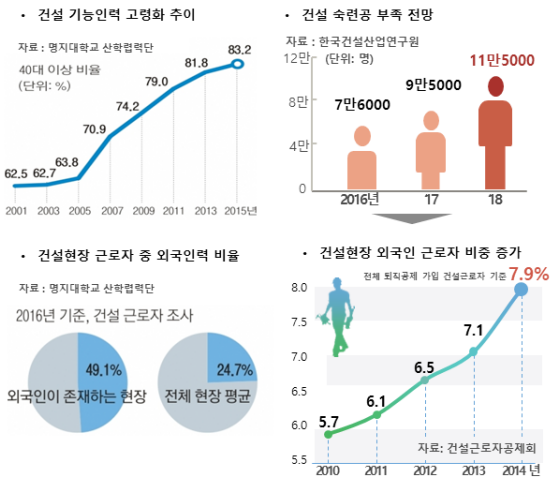
2. 건설산업에서의 ICT활용 현황 및 필요성

국내 건설산업은 타 산업에 비해 고령화 속도가 빠르며, 건설산업 고령화는 숙련 노동자의 감소로 이어져 생산성 저하를 심화시킨다. 건설산업은 노무비가 전체 원가의 30~40%를 차지하며, 타 산업에 비해 숙련공에 대한 의존도가 높은 노동집약적인 산업이기 때문에 숙련공 부족은 건설산업의 경쟁력을 약화시키는 주된 요인이 된다(한국건설산업연구원, 2016).

건설산업은 그 특성상 대다수의 젊은 세대에게 3D(Difficult, Dirty, Dangerous)라는 인식이 강하며, 숙련된 기술이 필요하기에 신규 노동자의 유입이 타 산업에 비해 적다. 또한 나쁜 작업환경 등으로 인해 안전사고 발생율이 높아 국내 청년층들의 건설 산업 기피 현상은 더욱 심화되고 있다(한국건설교통기술평가원, 2012).

젊은 노동인력을 대체하기 위해 외국인 노동자가 유입되면서 숙련된 노동인력 부족현상이 발생하고 있다. 기능종사자, 장치기계 조작/조립 종사자, 단순 노무종사자 등에서 젊은 층의 유입이 끊김으로 인해 숙련공의 단절이 예상된다(명지대학교 산학협력단, 2017). 이러한 현상은 세대 간 건설기술 및 노하우 전수를 단절시켜 기능 인력공의 부족 현상을 유발하며, 기능공의 부족에 따른 임금상승, 노동력 부족에 따른 안전문제 발생 등이 발생해 생산성 저하의 악순화를 반복시킨다.

[그림 2] 건설산업 고령화에 따른 노동인력 변화



숙련공 부족에 대한 기술적 해결 및 건설 생산성, 품질, 작업환경 등의 향상 방안으로 이미 오래전부터 건설 자동화 및 로봇(Construction Automation Systems and Robot) 기술의 필요성이 주장되어 왔다. 즉 건설기능인력 수급 불균형 심화, 노무 생산성 저하, 핵심기술에 대한 해외 의존도 심화 등 건설산업이 당면하고 있는 문제를 해결하기 위한 기술적 방안으로 건설기계의 자동화가 대두되었다.

이제는 4차 산업 혁명에 따른 컴퓨터, 무선 정보통신기술을 포함한 IT기술, 제어 및 센싱 분야의 지속적인 발전을 고려해 볼 때, 고부가가치 산업이라 할 수 있는 건설기계 자동화 및 로봇 기술과 접목시켜 미래 건설 산업 발전에 상당한 파급효과를 미칠 것으로 예상된다.

2.1 국외 건설산업에서의 ICT 활용 관련 정책 동향

국외에서는 이미 건설 생산성 혁신과 신시장 선점을 위하여 정부 차원에서 중장기 계획을 수립하여 스마트 건설기술 개발·확산 정책이 추진되고 있다.

미국의 경우, 민간을 중심으로 스마트 건설기술 스타트업을 활성화고 있다. 다양한 프로젝트에 BIM 등 디지털 기술 적극적으로 활용하고 있으며, 미국의 대표적인 소프트웨어 회사인 AutoDesk社, Bentley社 등은 계획, 설계 분야의 제품 중심에서 건설 전 프로세스의 모든 정보를 통합 관리하는 BIM 중심의 연구로 전환하고 있다.

또한 Trimble社는 'VisionLink'라는 프로그램을 통해 화면에 자산 정보가 표시되어 건설기계 브랜드와 상관없이 장비를 관리하고 VisionLink 통합 서비스를 이용하여 운영 및 자산 수명 연장, 유지 보수 일정 관리 및 장비 상태 추적한다. Daqri社는 BIM Data를 스마트 헬멧에 탑재, 시공관련 정보를 실시간으로 확인할 수 있게 하여 빅데이터, IoT 기술, 웨어러블 장비 등을 건설 현장관리에 활용하고 있다.

일본의 경우 2017년에 건설업에 종사하는 숙련인구가 2014년 340만명에서 10년 후인 2024년에는 110만명으로 줄어들 것에 대비해 '25년까지 건설생산성 20% 향상을 목표로 하는 'i-Construction 추진'이라는 정책을 발표하였다. 해당 정책을 통해 건설과정에 3차원 데이터 도입, ICT 장비 등의 신기술을 활용해 건설을 자동화·무인화 하는 것이 목표이다(조재용, 2017).

i-Construction의 일환으로 민간 기업인 코마츠社, 히타치社 등은 3D 스캐닝 기술을 접목하여 건설장비 자동화 기술을 발전시켰으며, 시공 자동화 장비 개발에 활발히 힘쓰고 있다.

[그림 3] 일본 정보화 시공(토공) 추진위원회 구성 및 내용(한양대학교, 2018)

또한 KOMATSU社는 정형화된 작업, 정밀 절삭 및 안전작업을 필요로 하는 토공 공사현장에 무인 중장비를 개발하여, 이를 드론과 연동하여 시공하고 있으며, 'KomConnect'라는 클라우드 기반의 오픈 플랫폼에 현장정보를 업로드하여 필요한 데이터를 언제 어디서나 클라우드에서 활용할 수 있는 서비스를 제공하고 있다. 2017년에는 Komatsu社, NTT docomo社, SAP社, OPTiM社가 IoT를 사용하여 건설 생산 공정을 가속하는 개방형 플랫폼인 「LANDLOG」 합작회사를 설립하였다. 이를 계기로 Komatsu社를 비롯한 HITACHI社, FUJITA社 같은 건설장비 회사뿐만 아니라, 드론 측량, 3차원 토공 소프트웨어 회사 등이 건설 생산성을 높이기 위한 플랫폼 기술 개발에 동참하고 있는 실정이다.

일본에서는 정책적으로 2016년부터 ICT 토공을 적용하였으며, 시공 효율화에 관한 요소 기술의 가이드라인을 책정하여 규격 표준화를 실시하였다. 2017년부터는 ICT 토공 실시를 위해 발주 시의 종합평가 및 준공 시의 공사 성적에 ICT 토공을 적용하면 가산점을 주는 정책을 이용하여 ICT 시공기술 확산을 촉진하고 있다(조재용, 2017).

2.2 국내 건설산업에서의 ICT 활용 관련 정책 동향

국내 건설산업에서의 ICT 활용 관련 정책의 경우 정부의 핵심 정책기조로 "4차 산업혁명의 플랫폼 구축을 통한 고부가 가치 창출 미래형 신산업을 발굴/육성(ICT기반 글로벌 경쟁력을 갖춘 소프트웨어 및 플랫폼 역량 강화 목표)"하는 것을 강조하고 있다. 국토교통부는 4차 산업혁명 기술 활용 및 정보의 호환성 부족, 청년기술인력 유입 저조, 미래 환경변화 대응 역량 부족 등으로 인해 기술 혁신과 글로벌 경쟁력 강화를 위해 아직 갈 길이 먼 상황이라고 평가한 바 있다.

이를 해결하기 위해 국토교통부는 4차 산업혁명 기술을 융합한 스마트 기술 개발을 통해 생산성·안전성을 향상하고, 건설 엔지니어링의 국제 경쟁력을 강화하기 위해 제6차 건설기술 진흥기본계획(2018~2022)를 발표하였다. 해당 계획은 2025년까지 BIM, AI 등의 ICT기술을 바탕으로 한 건설자동화 기술 개발을 비전으로 하는 "Smart Construction 2025"를 제시하였다. 이것을 필두로 "4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성"을 위한 건설기술정책 로드맵을 수립하였다(국토교통부, 2018).

현재 4차 산업혁명에 의한 다양한 스마트 기술들을 융합하여 무인 굴삭기 등 일부 건설장비 자동화 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 다수의 자동화 건설 장비의 통합연계를 가능하게 하는 '관제' 시스템을 개발하여, 관제 시스템을 통한 건설 장비 원격 제어 기술 등을 이용한 시공자동화 구현을 수행 중이다.

건설공사에서 가장 큰 비중을 차지하는 공종은 토공사이며, 현재 전통적 방식으로 운영되는 토공 프로세스의 경우 건설기계 시공 의존도가 높고 측량오차로 인한 재측량·재시공, 비효율적 건설장비 운영 등이 문제점이다.

2.3 ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 도입 필요성

기존의 연구들은 단일 건설장비가 주어진 정보에 따라서 최적의 움직임을 수행하는 것에 중점을 둔 연구였다.

그러나 실제 현장의 경우, 다종 및 다수의 건설장비가 투입되기 때문에 그에 적합한 환경에서 건설장비 들이 협업을 할 수 있는 시스템을 구축해야 한다. 특정 건설장비 위주의 작업 계획이 아니라 투입되는 건설장비를 전체적으로 고려한 작업계획 및 경로 계획이 우선적으로 수행되어야 한다.

건설 현장의 생산성, 안전성 분석을 위해 현장밀착형 카메라 네트워크를 구성하여 다수의 카메라를 이용해 실시간으로 지속적인 영상정보를 수집함으로써 영상의 사각지대를 최소화하고, 토공 현장 전체에 대한 통합적인 의사결정을 뒷받침할 수 있도록 신뢰성 있는 정보를 생산해 내야 한다.

첨단 IT기술을 융합한 최적 작업계획 및 현장 모니터링, 자동화 건설장비의 효율적 운용은 프로젝트의 생산성 향상 및 에너지 절감을 가능하게 한다. 그러나 현장에 투입되는 건설장비의 위치, 데이터 취득, 작업가이던스 및 모니터링, 스마트 진단,

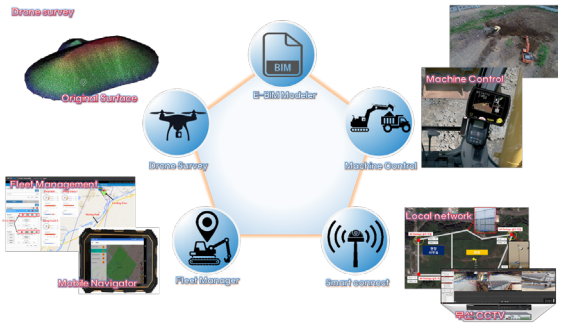
리포팅 등이 가능하게 하기 위해서 시각적 데이터 정보 제공을 통해 현장 관리자 및 장비 조종자의 의사결정을 지원할 수 있는 스마트 건설장비 관제 및 가이드 시스템이 필요한다.

ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공은 건설공사의 전체적인 작업 프로세스 모델의 개선, 현장 실시간 모니터링 자동화, 건설장비의 지능화로 건설현장에서 발생되는 다양한 문제를 해결하는 기회를 제공한다. 그리고 건설현장의 스마트화를 통해 자동화 기술, 시각화 기술 등의 첨단기술을 접목하여 장비 조종의 효율성을 제고하며, 토공에 투입되는 규모가 크고, 장비 조작의 난이도가 높은 건설장비의 원활한 운용을 지원할 수 있다.

3. ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개념

ICT를 활용한 지능형 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술은 드론과 레이저스캐너를 이용하여 토공 지형정보를 3차원으로 생성하고(e-BIM Modeler), 건설관제 시스템(Fleet Manager)에 탑재된 BIM설계 프로그램에 연동시켜 토공물량 및 건설장비에 이동 경로 등을 제공하는 기술이다. 또한 굴삭기, 덤프, 롤러 등 토공 장비에 부착된 가이던스 시스템 또는 네비게이터 등에 전달하여 최적 경로로 이동하며 자동화 시공을 진행하며 (Machine Control), 건설관제 시스템-장비, 장비-장비의 원활한 정보 공유·전달을 위해 자체 통신 환경을 구축한다(Smart Connect).

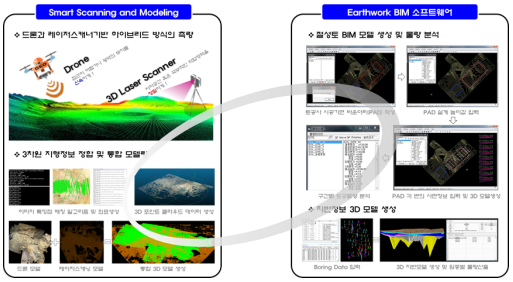
[그림 4] ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개념도(한양대학교, 2018)



3.1 e-BIM Modeler

e-BIM Modeler는 비정형적이고 광역의 부지에 대한 형상 정보를 드론과 레이저 스캐너를 활용한 하이브리드 방식의 측량 및 지반 모델링 기술을 적용하여 다양한 토공사 설계유형에 최적화된 독보적 기법으로, 단시간에 토공 BIM을 구현할 수 있는 3차원 BIM 기반 토공 정보화 기술이다. 이 기술을 통해 토공사의 정확한 물량산출 및 진도를 효과적으로 관리할 수 있다.

[그림 5] e-BIM Modeler 구성도(한양대학교, 2018)



3.2 Fleet Manager

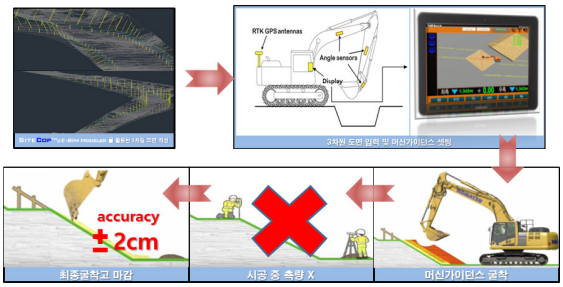
다수의 장비가 투입되어 협업을 통해 수행되는 토공사의 특징을 고려하였을 때 필요한 장비군(郡, Fleet) 단위의 최적 장비조합, 최적 토량 배분 및 개별 장비 이동경로 계획 등의 전반적인 토공장비의 작업계획을 능동적으로 생성하며, 건설장비 관제 모니터링을 통하여 현장의 수행성능과 환경적 변화에도 실시간으로 대처한다.

[그림 6] Fleet Manager 구성도(한양대학교, 2018)

3.3 Machine Guidance(MG) / Control(MC)

3D 토공 BIM 설계정보를 활용하여 건설 장비 운전자에게 장비의 현 위치에서 수행하여야 할 작업 목표(작업 구배 및 심도) 를 제공하여, 측량 시간 감소, 굴착오차로 인한 Rework 발생의 최소화와 및 시공 중 재측량 최소화를 통해 건설장비의 작업 생산성 향상 및 원가절감을 이룬다.

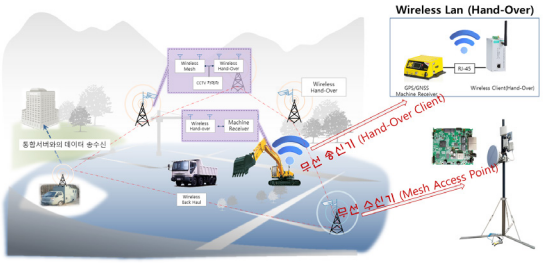
[그림 7] Machine Guidance/Control 개념도(한양대학교, 2018)



3.4 Smart Connect

산악지형이나 지하차도 공사, 대심도 토공, 터널, 도심지 빌딩 인근 등의 건설현장의 열악한 통신 여건을 고려하여 공인망 통신 가능 지역 및 통신음영지역의 데이터 송·수신을 함께 보장하기 위한 광대역 로컬 네트워크 시스템 및 휴대용 로컬 AP(Access Point) 세트 개발을 통해 건설장비 관제 및 건설현장 안전 관리용 CCTV를 구축을 수행한다.

[그림 8] Smart Connect 개념도(한양대학교, 2018)



4. ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 현장적용

4.1 제주도 ○○아파트 건설현장

2018년 5월부터 약 3개월 동안 제주도 ○○아파트 건설현장의 토공사에 ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술을 적용한 사례를 소개하고자 한다.

발주자, CM사, 시공사와 건설장비 관제 시스템을 통해 프로젝트 정보를 공유하였으며, 토공 프로젝트의 지형 및 설계 정보를 3차원으로 정보화하고 무선네트워크 환경에서의 각 장비의 이동과 작업 상황을 실시간 모니터링, 분석 및 통제하여 토공장비의 생산성을 제고하고 양질의 시공 품질을 제공하였다.

먼저 BIM기반 3차원 토공사 설계, 드론을 활용한 신속 정밀한 디지털 측량을 하고 이를 기반으로 한 토공물량 산정 및 진도관리를 진행하였으며, 이는 굴삭기 가이던스(Machine Guidance)에 활용되어 3차원 설계 정보를 바탕으로 시공 중 별도의 측량을 진행하지 않고 스마트 토공작업을 수행하였다.

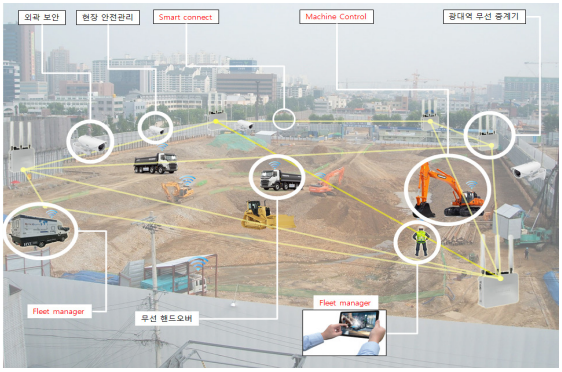
또한 로컬네트워크 기반 현장 무선통신 인프라를 구축하여 건설장비의 위치 및 상태정보 등을 관제 시스템으로 송신하고 무선 CCTV를 통해 토공사 현장 관제를 하였다.

또한 현장 외에서도 토공 관제프로그램(Fleet Manager)을 활용하여 투입된 장비 군의 상태 정보, 현장정보, CCTV영상 등 인터넷이 되는 어느 곳에서나 관제를 수행할 수 있도록 하였다.

본 기술의 현장 적용 검증은 현장에서 중장비의 생산성과 전체 작업 공정의 소요 일수를 분석하여 스마트 토공장비의 효율성을 검증하였다. 즉 Web-GIS 기반 Fleet Manager을 통하여 본 기술 적용 전·후의 건설장비 생산성 향상 및 공사 일수의 감소를 측정 하였으며, 토공 장비 생산성 및 공사 일수 산정 시 토공 관제프로그램(Fleet Manager)에 저장된 머신가이던스 적용·미적용 장비의 작업량(토공물량)데이터를 분석하였다.

ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 현장적용 결과 토공 생산성은 약 15.81% 향상되었으며, 기존 토공사 예정 공정표 상의 공사일 수와 비교했을 때 본 기술 투입으로 인해 12일 단축되었다. 토공장비 생산성 향상 및 공기단축을 반영한 원가절감 분석을 실시하였을 때, 당초 토공 공사비(도급액 기준)대비 4% 원가 절감을 이루어 냈다.

[그림 9] 제주도 ○○아파트 토공사 현장 전경



4.2 경기도 ○○ 행사장 조성공사 현장

2017년에는 경기도 ○○행사장 조성공사 현장(11,500㎡)에 드론을 활용한 지형 모델링 및 e-BIM Modeler를 통한 3D 토공 BIM 함께 이동형 관제센터 내 Web-GIS 기반 Fleet Manager 프로그램을 통한 현장 내외 장비의 실시간 위치와 정보 파악을 수행하였다.

본 현장은 자연배수에 중점을 둔 행사장 조성 공사로, 제주도 ○○아파트 건설현장 사례와 마찬가지로 드론을 활용한 3차원 현황 모델을 먼저 작성한 후, e-BIM Modeler를 활용한 토공모델을 작성하였다. 그 다음 작업구간에 무선 네트워크망 구축 및 CCTV 연계를 통해 현장 내외부에서의 실시간 통합관제를 실시하였다.

본 기술을 적용한 결과, 레벨 측량 작업 인력과 함께 덤프와 굴삭장비의 휴지시간도 감소 등으로 인해 공사일수 3일 단축, 기존 시공대비 토공장비 생산성 42.78% 향상, 22.84% 원가 절감 결과를 얻을 수 있었다. 이로써 본 기술의 적용 전후로 구분해 보았을 때, 관련 적용 기술로 인해 측량오차로 인한 시공오류, 과굴착 등이 방지돼 시행착오가 현저히 저감되고, 특히, 별도의

측량 작업이 필요 없어 인력절감으로 인한 비용절감에 매우 효과적인 것으로 확인됐다. 또한, Web-GIS기반 광역 장비관제 시스템을 통해 굴삭기와 덤프의 조합대수 최적화도 가능해 장비의 휴지시간을 크게 줄어 생산성이 크게 향상되고, 이와 더불어 원가도 절감할 수 있음을 확인하였다.

5. 맺음말

본 고에서는 4차산업 혁명에 따라 새롭게 변화되고 있는 건설산업 트렌드에 대해 소개하고, 이에 발맞춰 국내 건설산업에서의 ICT 활용의 필요성에 대해 언급하였다. 그리고 실제 건설현장에 ICT를 기반으로 한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 적용을 통해 다음과 같은 효과를 입증하였다.

토공물량에 대한 기성을 Digital Model로 산정하여 기성 산정을 자동화하고 신뢰도 또한 제고하였으며, 굴삭기의 작업구역 내 작업량 파악을 통한 공사 진척도 관리뿐만 아니라 덤프의 운반 횟수 및 이동 거리 확인을 토공 관제프로그램(Fleet manager)의 기록 내역을 통해 확실시 할 수 있어 발주처 및 CM회사에서 기성 자료로 활용 가치가 높음을 확인할 수 있었다.

그러나 이제는 앞서 언급한 일본 합작회사인 LANDLOG와 같이 본 기술을 클라우드 컴퓨팅 기술을 접목하여 오픈 플랫폼화하고, 자동화 시공기술의 대상을 대규모 복합 토공사 (포장 등 부대공 포함) 등으로 그 범위를 확장할 필요가 있다.

또한 기술이전을 통한 다양한 대규모 복합 토공사 현장 기술 적용 및 심층적 성과(생산성, 안전성 및 경제성) 검증과 오픈 플랫폼 기반 토공장비 관제 및 자동화 시공기술 개발을 통해 세부기술 및 통합시스템에 대한 기술 표준화를 추진하여 일본의 i-Construction과 같은 한국형 브랜드를 런칭하여야 한다.

이를 위해서는 정부 및 지자체와의 협력을 통해 ICT 건설 장비 관제 및 스마트 시공 기술을 공공부문 건설산업에 적용 확대 및 법적 제도화하는 것이 우선 되어야 할 것이며, 향후 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴/육성함으로써 일자리(정보화기술기반 중장비 파일럿) 창출, 청년층의 건설사업 진입 증대를 이룰 수 있을 것이다.

ICT 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술이 앞으로 대한민국 건설산업의 발전에 기여함을 물론 더 나아가 세계 건설시장 에서의 건설 자동화 혁신 기술분야에서 확실한 경쟁력을 갖출 것으로 기대되는 바이다.

※ 참고문헌

1. 이상호, 2018, "4차 산업혁명 건설산업의 새로운 미래; Mckinsey Global Institute Report(2017)"
2. 문화일보, 2016, 『건설 숙련기능인력 올7만명 부족...인력 양성 대책 시급』 http://www.munhwa.com/news/view.html?no=2016011401032003008001(Access:2018.08.22.)
3. 한국산업인력공단(명지대학교 산학협력단), 2016, "2017년도 건설업 취업 동포 적정 규모 산정"
4. 쌍용건설, 2018, "4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 기술 개발 동향(조재웅)", 특집기획 II -4차 산업혁명과 건설산업의 대응방향
5. 조재용, 2017, "4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 대응 전략 및 시사점", 대한건설정책연구원, pp.42-67
6. 국토교통과학기술진흥원(한양대학교), 2018, "ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발(최종보고서)"
7. 국토교통부, 2018, "스마트 건설기술 로드맵"