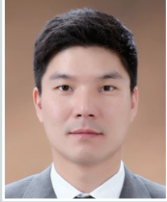


4차 산업혁명 시대 - 미래 도시건설 전망

KICEM



지석호 서울대학교 건설환경공학부 부교수

2016년 1월 20일 스위스 다보스에서 열린 '세계경제포럼'에서 4차 산업혁명이라는 개념이 처음 언급된 이래 불과 1년 만에 차기 정부 대선후보 모두가 이를 언급할 만큼 4차 산업혁명은 이미 우리사회에 깊숙이 자리를 잡은 개념이 되었다. 4차 산업혁명으로 인한 모바일, 자동화, IoT, 클라우드컴퓨팅, 로봇산업 등에 대한 경제적 파급효과는 기하급수적으로 증가하고 있으며, "Industry 4.0", "4차 산업혁명" 등 관련 키워드에 대한 구글 검색 수도 지난 2년 동안 10배 이상 증가했다. 하지만 우리나라의 경우 세계 최고의 제조업과 정보통신 인프라를 가지고 있음에도 불구하고 노동시장, 기술수준, 교육시스템, 정책 및 제도 등이 유연하지 못한 문제로 인해 4차 산업혁명시대 준비 역량은 전 세계 25위 수준에 그치고 있다. 건설산업에서도 이러한 사회적 흐름에 발맞춰 4차 산업혁명을 통해 기존 건설 패러다임을 정보중심, 기술서비스 중심으로 전환하고 이를 통해 글로벌 경쟁력을 강화하자고 강조하고 있다. 하지만 현재 건설산업의 경우 4차 산업혁명 기술의 적용 수준은 타 산업에 비해 매우 낮은 실정이며, 건설산업 내에서도 산업체는 VR, AR 기술의 필요성을 높게 평가하는 반면 연구기관에서는 인공지능, 빅데이터의 수요를 높게 보는 등 각 기관별로 어떤 기술이 앞으로 꼭 필요할 것인가에 대한 평가 및 이에 대한 준비가 서로 엇갈리고 있다.

건설산업이 가트너 등에서 발표한 미래 유망기술 중 어떤 기술을 어느 분야에 어떻게 적용할 것인가, 그리고 이러한 기술이 적용될 미래의 인프라, 건설산업은 어떤 모습일까를 이해하기 위해서는 무엇보다도 미래 도시건설의 모습이 어떤 것인가를 고민해볼 필요가 있다. 앞으로 무인항공기, 웨어러블디바이스 등의 활용이 늘어날 것이기 때문에 우리도 어떻게든 이 기술을 현장에 적용해보자라는 식의 근시안적 접근 보다는 여러 미래

기술 중에서 중장기적인 관점에서 건설산업에 적용되어야만 하는 기술이 무엇인지를 먼저 생각해보는 것이 보다 중요하다는 얘기이다. 예를 들어, 터무니없는 얘기로 들릴 수도 있겠지만, 자율주행자동차에 대한 연구개발이 많이 이루어지고 있어 곧 상용화가 될 전망이지만 가까운 미래에 개인비서로봇이 운전까지 해줄 수 있는 시대가 된다면 자율주행자동차의 효용성은 우리가 지금 기대하는 것보다 훨씬 작을 수도 있다.

따라서 본고는 4차 산업혁명이 이미 시작된 시점에서 과연 미래건설은 어떤 모습일지를 생각해보고자 한다. 쉽게 생각하면 미래에는 자동화 기술을 바탕으로 빠른 시공, 값싼 시공이 가능할 것이라고 생각되지만 삶의 질에 대한 사용자의 기대수준이 높아져 오히려 정교한 시공, 비싼 시공이 자리매김을 할 수도 있다.

1. 도시건설자동화에 따른 경제적 이득

글로벌 로봇시장은 2018년 211억 달러 규모를 형성하며 본격적인 성장단계에 진입할 전망이다. 특히 자동화 융합시장은 꾸준히 확대되어 세계적으로 2025년 1조 7천억 달러에서 4조 5천억 달러 정도의 경제효과가 있을 것으로 추정된다. 건설산업 또한 건설 인력의 고령화로 인한 인건비 상승, 시공 품질 저하, 공사기간 및 비용 증가, 안전사고 발생 위험성 증가 등의 문제가 발생할 가능성이 높아지고 있어 노동집약적 구조를 개선하기 위한 건설자동화에 대한 필요성은 지속적으로 증가할 전망이다.

첨단기술을 활용하여 전통적 방식의 작업공정을 자동화·기계화할 경우 기능 인력에 대한 수요를 줄여 경제성 및 생산성이 49% 가량 향상될 수 있고 자동화·기계화 정도에 따라 그 효과는 기하급수적으로 증가할 수 있다는 통계가 있다. 도시건설 자

동화에 따른 효과는 보다 구체적으로 아래와 같은 적용 사례를 통해 부분적으로 검증된 바 있다.

- 기성 콘크리트 파일 타격식 두부정리 자동화 장비를 1대 도입하는 경우 기능 인력의 수요가 하루 3인에서 1.5인으로 감소하며, B/C ratio는 3.43, 손익분기점은 1년 7개월 이고 연간 발생 이익은 19.6%에 달함.
- 이순신대교의 케이블 시공 자동화를 위해 개발된 Air Spinning 공법의 경우, 1대가 개발, 적용되어 공기단축 및 품질향상 등으로 200억 원 상당의 비용절감 효과가 발생함.
- 인천대교 철근망 제작 자동화 기술은 공기를 기존 대비 1/3로 단축했으며 철근 물량 감소 등 비용절감 효과가 발생함.
- 건설기계 자동화에 따른 효과: 연료 감소율(그레이더 35%, 굴삭기 47%), 생산성 증가율(그레이더 107%, 굴삭기 29%), 측량시간 감소 95%, 측량정확도 향상 98%

건설프로젝트는 주로 근로자의 경험에 의해 현장 작업이 이루어지므로 작업 표준화가 어렵고 근로자의 심리 및 신체 상태에 따라 작업 생산성이 크게 영향을 받는다. 이에 따라 생산성 증진 및 품질 표준화 기술개발에 대한 요구가 꾸준히 증가하고 있으며, 아직까지 초기단계에 머물고 있는 자동화 수준을 고려하였을 때 향후 자동화로 인한 기대효과는 매우 클 것으로 기대된다.

2. 현행 도시건설자동화기술에 대한 평가

아래의 사진에서 보는 것과 같이 수많은 기술개발이 이루어



그림 1. 1990년대 초 분당신도시 건설현장 출처: 중앙일보 2014. 9. 14

졌음에도 불구하고 1990년대 초 분당신도시 건설현장과 2012년의 세종시 건설현장의 모습은 크게 다르지 않다. 1990년 ~ 2000년대에 걸쳐 일본을 중심으로 다양한 하드웨어적 건설자동화 기술 개발이 있었으나 실제로 현재 현장에 적용되고 있는 기술을 찾아보기는 쉽지 않다. 예를 들어 일본 시미즈 건설은 1990년대에 이미 고층건물을 자동으로 시공하는 기술을 개발하였으나 경제성이 낮아 그 활용도는 매우 저조한 실정이다. 심지어 많은 R&D 투자액 대비 현장 적용성이 낮아 건설자동화 기술개발은 “기술개발을 위한 기술개발”이라는 회의적인 시각조차 존재해왔다.

이는 건설산업 전반에 걸쳐 노동집약적인 건설현장의 특성상, 그리고 모든 프로젝트의 특성이 제 각각 달라 표준화하기가 어렵고 그 때문에 자동화를 통해서 경제적인 이익을 얻기가 힘들다는 생각과, 건설산업의 경제적 위기로 인해 자동화 기술개발에 예산을 투입할 여력이 없다는 생각이 지배적이기 때문이다. 어려울수록 기술개발을 통해 돌파구를 마련해야 한다는 말은 건설산업에서는 설득력이 떨어진다. 또한 개발기술을 현장에 적용한다 하더라도 여러 현장에 활용 가능한 범용적 기술이 부족하고(현장과 현장), 다른 공정과의 명확한 연계방안 또한 부족하며(공정과 공정), 자동화 기술을 단편적으로 적용한 것에 대한 성과를 정량화하는데도 한계가 있어 자동화 기술 활용에 대한 장점을 부각시키기 어렵고 이는 자동화 기술개발에 대한 회의적인 인식의 확대로 이어져왔다.

3. 현행 도시건설프로젝트관리 방법에 대한 평가

국가 기술산업의 개발과 성장, 장기적 국가개발, 수도권 과밀 해소와 인구분산, 복합 레저공간 조성, 기술특화형 산업단지 개발 등을 목표로 최근 세계 각국에서 대규모 도시개발 사업이 진



그림 1. 2012년 세종시 건설현장 출처: 연합뉴스 2013. 1. 3

행 중에 있다. 이러한 도시개발사업의 주체는 민간 또는 공공, 민/관 협업 등으로 구분할 수 있으며 대부분의 경우 다수의 사업자가 참여하는 복합적인 성격을 띤다. 현재 약 50% 공사가 마무리된 세종시 행정중심복합도시 건설사업에도 도로, 가스, 전력, 통신, 청사, 공동주택, 상가 등 다양한 사업주체가 참여하고 있다.

세종시 프로젝트는 기존 신도시 개발과는 다르게 난개발을 지양하고 국가 주도적으로 도시를 6개의 생활권으로 나누어 행정시설뿐만 아니라 의료, 교육시설 등의 자족기능 시설을 유지하고 문화, 국제교류 시설 등 주민 편의시설 공급을 최우선으로 추진한다. 세종시를 구성하는 주요 시설은 크게 공공부문과 민간부문으로 나눌 수 있다. 공공부문은 중앙정부가 부담하는 총 사업비 22,5조원 내에 해당하는 사업으로 부지조성, 교통시설, 공공시설, 문화복지시설이 있으며 이러한 사업은 행정중심복합도시건설청과 사업시행자가 발주하는 사업이다. 민간부문은 도시공급 및 처리시설, 교육시설, 주거시설, 상업업무시설 등 정부부담금을 제외한 사업들로 볼 수 있다.

이러한 대규모 도시건설 사업은 사업기간이 길고 사업비가 많이 소요될 뿐만 아니라 다수의 이해관계자가 참여하여 다양한 시설이 동시다발적으로 건설되는 특성으로 인해 효율적인 프로젝트관리에 어려움이 있다. 특히, 도시 건설사업을 관리할 수 있는 표준화된 정보관리 체계가 부재하여 개별사업별, 단계별, 공정별 데이터 수집, 통합 및 소통에 한계가 있다. 즉, 발주자, CM/감리, 시공사 등 도시개발사업 참여주체 간 예산, 공사기간, 품질, 안전 등 프로젝트 관련 정보를 원활히 소통함에 어려움이 존재하며 프로젝트 계획 - 설계 - 시공 - 사용단계 간 데이터 장벽이 존재한다.

현행 도시건설 프로젝트관리 방법에 있어 이렇듯 효율적인 프로젝트 관리를 위한 소프트웨어 플랫폼이 부족할 뿐만 아니라 도시건설 진도율을 계산하는 방식에도 문제가 있다. 도시건설사업에서는 주로 건설 진도율에 근거하여 인력 및 사업비가 투입되고 차기 계획 수립 및 변경 등에 필요한 의사결정을 진행한다. 하지만 대부분의 도시건설 사업이 지출된 사업비에 기초한 진도율 방식(예, 예산의 50%를 사용했으면 건설 또한 50%가 완료되었다고 평가하는 방식)을 따르기 때문에 실제적인 건설 진행 상황과 차이가 존재할 수밖에 없고 설계변경 등으로 인해 사업비가 증감될 때 공사 진도율 또한 변화하는 단점이 있다.

특히, 세종시 프로젝트에서 볼 수 있듯이 이러한 사업비 관리 영역은 국가 예산만을 대상으로 하는 공공부문만을 관리하는

경우가 많아 학교, 공동주택, 병원, 상가 등 도시 형성에 중추적 역할을 하는 민간사업 시설물이 제외되어 전반적인 도시 구성 정도를 실질적으로 표현함에 있어 한계가 존재한다. 프로젝트 관리체계 또한 대부분 개별 시설물 건설에 사용되고 있는 관리체계를 다양한 시설을 동시에 건설하는 도시건설 프로젝트에 그대로 적용하고 있어, 교통시설, 주거시설, 도시공급 및 처리시설, 문화시설 등 도시시설 간의 상대적 중요성을 고려한 진도율 관리가 제대로 이루어지지 못하는 실정이다.

4. 미래 도시건설 전망

도시건설분야의 중노동/위험작업 기피, 기능인력의 부족 심화 등의 환경변화로 머지않아 로봇에 기반한 자동화는 선택이 아닌 필수가 될 것으로 전망되고 있으며, 건설 프로세스 자동화는 무인화, 원격조종, 증강현실 활용 등 다양한 형태로 발전되어 나갈 것으로 예측된다. 일본 국토교통성의 2013년 "정보화 시공 추진 전략" 중장기 로드맵은 2020년까지 생산성 향상 및 노동력 절감을 위한 건설자동화 기술 보급률을 30%로 향상시키고, 주요 노후 인프라의 20%에 대해 센서 및 로봇기술을 활용하여 점검기술을 효율화하며, 재난현장, 토사붕괴나 화산지 등의 가혹한 환경에서도 일반시공과 유사한 수준의 무인시공기술을 실현하는 등의 목표를 제시하였다. 현재 일본과의 기술 격차를 고려해도 2050년 국내 건설자동화 기술 보급률 또한 50% 이상에 육박할 것으로 전망된다.

미래에는 무인시공, 프로젝트관리 자동화, 작업공정 자동화 등으로 인해 인력고용에 필요한 노무비와 사업운영에 필요한 간접비는 현재 보다 줄어들 것으로 예상되나 자동화 시설 구축 및 장비시공에 따른 초기투자 비용과 제반 경비는 증가할 것으로 예상된다. 건설자동화로 인한 비용 절감 효과는 부분적인 공장에서 30~40%대 내외로 분석되며 이를 도시 범위까지 확대할 경우 각종 비용 등을 감안하여도 25% 비용 절감 효과를 피할 수 있을 것으로 기대된다.

영국의 경우 2024년까지 건설자동화를 통해 공사기간을 50% 단축함을 구체적인 목표로 설정하고 각종 기술개발 사업을 추진하고 있으며 자동화에 따른 평균적인 공기단축 효과를 고려하였을 때 길게 잡아 2050년까지 50% 단축은 가능할 것으로 전망된다. 이렇듯 미래 도시건설은 자동화를 통해 상당한 비용적, 시간적 기대효과를 창출할 것으로 보이며, 특히 건설산업은 수주기반산업이기 때문에 기계화, 자동화 산업은 앞으로 기업 경쟁력 확보를 위한 새로운 비즈니스 모델이 될 것으로 전망

된다.

하지만 자동화에 따라 순수 미래 도시 건설비용은 현재와 비교하였을 때 낮아질 것으로 예상되나 품질, 환경, 편의 등 사용자 “Value” 중심의 사회적 요구는 앞으로 꾸준히 증가할 것으로 예상되어 “미래 도시 건설비용이 현재보다 쌀 것이다, 아니다 비쌀 것이다”와 같은 문제를 현재 관점에서 판단하기에는 어려움이 있다. 다만, 자동화에 따른 예산절감, 공기단축의 이득은 비용-편익을 따져 보았을 때 프로젝트 크기가 크고 프로젝트 내 반복적인 공사가 많고 도시 구성요소가 단순할수록 클 것이기에, 자동화 중심의 도시건설은 다양한 커뮤니티의 요구를 반영하는 “살기 좋은” 미래도시 건설보다는 통일시대의 북한, 개발도상국 등 급속 인프라 구축을 통한 급속성장을 요구하는 도시 또는 재난재해로부터 신속한 복구가 필요한 도시와 같은 성격을 띤 도시 건설에 더 비용적 장점이 있을 것이다. 모듈형 주택을 일괄적으로 제작하여 현장에 공급하는 것이나 시설물 구성 요소를 레고 형식으로 공장 제작하여 현장에서 조립을 하는 것과 같은 프로젝트가 자동화 중심 건설의 적합한 예라고 볼 수 있겠다.

이러한 측면에서 생각해보면 미래 신도시 건설을 계획할 때 완전히 새로운 도시를 건설할 것인가 아니면 적정수준의 도시를 건설할 것인가와 같은 도시건설 수요에 따라 비용, 공기, 품질 간의 균형관계가 다르게 정립될 수 있다. 그렇다 하더라도 미래도시가 물량공급보다는 사용단계, 즉 사용자의 Value에 초점을 맞춰 건설될 것이라는 생각에는 변함이 없다. 다만 그 목적이 다를 뿐이다.

비슷한 맥락에서 미래 사회에서의 대도시 건설에 필요한 비용과 분산화된 중소도시 건설에 필요한 비용을 비교해 본다고 했을 때, 기능적으로 매우 유사한 중소도시를 대량 중복해서 건설한다고 가정하면 중소도시 건설이 비용적인 측면에서 효과적일 수도 있지만 각 중소도시의 역할 및 기능이 전문적으로 세분화 될 경우 오히려 반복생산, 벌크성 자재공급, 일괄적 중장비 사용 등에서 유리한 대도시 건설이 경제적으로 더욱 효과적일 수 있다. 또한 현 도시를 지속적으로 발전시킬 경우 기존의 노후시설물을 유지관리하여 개선해나가는 비용이 장기적인 관점에서는 신도시 건설에 비하여 더 큰 비용이 들 수도 있지만 전통계승, 랜드마크 및 지역 커뮤니티 보존 등에 따른 기회비용을 고려하였을 때는 반드시 신도시 개발만이 최선의 대안은 아닐 수도 있다.

미래 도시는 시공위주의 공급보다는 사용단계, 즉, 초기투자 비용이 비싸더라도 오랫동안 안전하고 편안하게 잘 쓰는 것이

보다 중요할 것이다. 비용, 공사기간, 생산성, 인력대체 등과 관련된 건설 자동화 기술은 이러한 가치지향적 건설을 기술적으로 뒷받침할 것이다. 이렇듯 기술을 중심으로 한 미래 건설시장은 점진적으로 확대되어 가고 있는 반면에 한국의 경우 확대되는 시장 수요에 대응할 수 있는 기술력이 매우 부족한 실정이다. 일례로 전 세계적으로 유지관리 시장이 확대되어 가고 있지만 한국의 경우 시설물 유지관리에 필요한 선진기술을 보유한 전문기업도 전무할 뿐만 아니라 기술개발을 위한 구체적인 실행계획 또한 마련하고 있지 못한 실정이다. 현 상황이 지속될 경우 미국, 일본, 독일 등의 선진 기술국이 미래 건설시장을 점유할 것은 분명해 보인다.

이러한 상황 속에서 우리는 우리가 앞으로 나아가야 할 방향이 어디가 될 것인가 고민해볼 필요가 있다. 우리는 기술 선진국과의 격차를 줄이기 위해 부단히 노력을 해야 하는가 아니면 개발된 선진기술은 차용해 활용하되 차별화 될 수 있는 새로운 미래 건설 비즈니스 모델을 개발해야 하는 것인가. 오히려 우리가 집중해야 하는 새로운 비즈니스 모델은 비싼, 하지만 커뮤니티의 요구를 그대로 반영하는 “살기 좋은” 도시건설 모델일 수도 있다.

참고문헌

- 고성진, 지석호, 김진우, 송준호. 2017. “대규모 건설프로젝트의 진도율 측정 프레임워크 개발에 관한 연구.” 대한토목학회논문집, 37(2), 419-425.
- 국토교통과학기술진흥원. 2013. “2040 국토교통 미래기술예측조사.”
- 원영호, 이정호, 김영석, 박성진. 2002. “기성 콘크리트 파일 두부정리 자동화 방안에 관한 연구.” 대한건축학회지, 18(9), 181-190.
- 장현승, 우성권. 2003. “건설공사의 자동화/기계화의 효과 및 확대 방안.” 건설저널, 2-15.
- 정만태. 2014. “세계 건설기계산업의 최근 동향과 시사점.” KIET 산업경제, 186, 55-64.
- 최속희. 2014. “고령자 고용 현황과 정책적 시사점.” 고용동향브리프, 2014년 8월호, 2-21.
- 최현석, 신대영. 2011. “건설자동화 시스템과 자동화 요소 기술 개발 방향.” 유공압시스템학회, 8(2), 64-68.

■ 지석호 e-mail: shchi@snu.ac.kr