

첨단건설기술의 활용과 개발동향

Article

02



이 현 수
서울대학교 건축학과 교수

1. 서론

그 동안 건설산업은 노동집약적인 생산방식에 의존하여 시설물을 건설하기 때문에 기술활용도가 낮은 업종으로 인식되어왔다. 따라서 건설산업과 첨단기술은 큰 상관관계가 없는 것으로 생각되었다. 그러나 건설 프로젝트의 규모가 커지고, 사용자의 요구수준이 점차 고급화되어 가면서 건축물의 성능과 품질을 달성하기 위한 과학적이고 체계적인 방법이 필요하게 되었다. 또한 건설재해를 방지하고 쾌적하고 안전한 건설현장 유지하기 위한 새로운 관리기술의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.

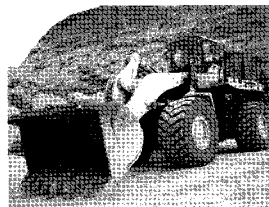
최근 대부분의 건설현장에서는 첨단기능의 건설장비 및 측정장치를 사용하고 있을 뿐만 아니라, 컴퓨터 기반의 건설정보시스템을 이용하여 효율적인 건설관리를 수행하고 있다. 미래의 건설기술은 설계와 시공의 통합화, 자동화를 추구하는 방향으로 발전될 것으로 예상된다. 본 고에서는 이러한 추세를 감안하여 이미 개발되거나 곧 현실화될 새로운 건설기술을 소개하고자 한다.

2. 첨단 건설기술의 활용

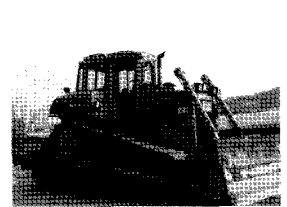
(1) 시공

① 건설공사의 기계화

석탄 등 지하자원을 굴착하기 위하여 1930년대 쇼벨계의 크레인이 미국 및 유럽에서 활용이 일반화된 이후 2차대전 중 신속한 활주로 건설을 위하여 미군이 도저 및 모터 그레이더 등 기본적 토목용 건설장비를 이용한 것이 근대 및 현대적인 시공 기계화의 시초라고 볼 수 있다. 이후 1980년대 초까지 건설장비는 기계적인 발전을 위주로 개발되어 왔다.



쇼벨



불도저

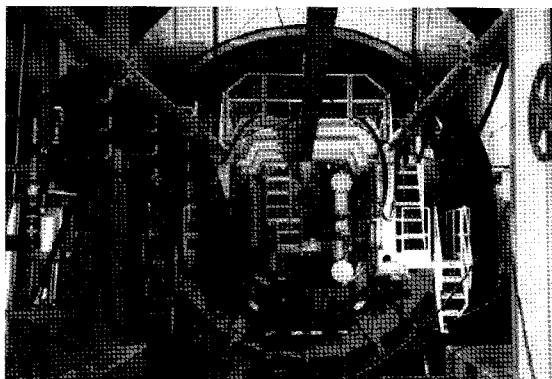
② 건설장비의 자동화

이러한 기계적인 발전과 함께 1980년대 중반부터 건

설장비의 개발 동향은 과거의 대형화와 함께 자동화의 움직임을 보여주었다. 건설장비의 자동화는 1980년대 초부터 발달하기 시작한 전자공학 기술이 모든 산업분야에서 응용되면서 시작되었다. 디지털 기술 응용장치의 가격안정 및 기술의 일반화로 일본의 건설장비 제작업체에서 적용하여 그 가능성이 인정된 후 급격한 보급이 이루어졌다. 이에 따라 인력 운전에 의존하던 여러 가지 건설장비의 조종을 상당부분 컴퓨터가 담당하고, 조종원은 부수적 사항에는 신경을 쓰지 않고 작업에만 몰두할 수 있게 됨에 따라 작업 효율이 급격히 향상되었다. 또한 건설장비의 대형화에 따른 여러 가지 문제점을 컴퓨터가 담당함에 따라 기존의 기계적인 문제점이 해소되면서 더욱 안정적인 구조를 갖추어 대형화가 추진될 수 있었다.

③ 특수장비의 개발

시공의 목적이 전통적인 토목공사이거나 건축공사인 경우에는 전통적인 건설장비를 사용하는 경우가 많지만 1980년 중반 이후 과거에는 실현 가능성에 의문을 가졌던 특수한 용도의 건설용 장비들이 첨단 기술의 도움을 받아 현장에 나타나기 시작하였다.

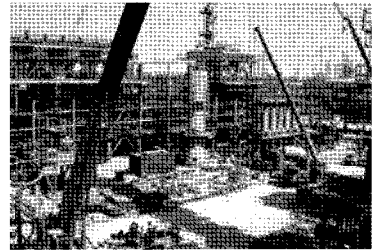


대구경실드 TBM

이러한 특수장비는 레이저, 적외선, 자이로(Gyroscope) 장치 등 첨단 계측기술을 적용하여 시공성을 더욱 향상시켰다. 그 예로서 산악 등 암반지대에서의 터널시공용 장비인 TBM(Tunnel Boring Machine), 일반적 지반에서의 터널 굴착 장비인 Shield Machine, 기존 포장도로의 아스팔트를 걷어내고 다시 포장하는 Road Recycling Machine, 지중의 각종 관로에 대한 비파괴 관측이 가능한 GPR(Ground Penetrating Radar) 등이 있다.

④ 현장적용을 통한 건설장비 발전

건설현장은 과거의 노동집약적인 형태에서 점차 건설장비 위주의 형태로 변천하고 있



다. 우리나라의 건설업체들이 건설장비 중심의 시공현장을 경험하게 된 것은 1970년대 중반이후에 진출한 중동현장이 그 시초라고 할 수 있다. 중동지역의 시공현장 분위기를 경험한 국내 건설기술자들은, 그 이후 국내 건설현장에서도 건설장비 중심의 작업 패턴으로 시공을 하기 시작하였다. 일본과 같은 건설선진국의 시공현장은 한 단계 더 진보하여 자동장치 및 첨단 통신 기능까지를 이용하는 사례를 보여주고 있다.

이러한 건설현장의 첨단 기술적용 사례로서, 일본 건설성에서는 1993년 7월 무인화시공에 관한 시험현장제도를 발표하고 이를 바탕으로 실제현장에서의 실제시공을 전제로 한 기술 제안을 공모하였다. 일본의 건설현장에서 적용한 원격조종시스템은 무인 불도저, 무인 굴

삭기, 무인 덤프트럭을 원격지에 위치한 조종실에서 조종하기 위한 것으로, 이러한 시스템을 구성하는데 필요한 요소기술에는 화상시스템, GPS 건설장비 위치검출 시스템, 토공량 관리시스템 등이 있다.

(2) 환경

1990년대 초반부터 국내에 도입되기 시작한 첨단정보 빌딩(IB, Intelligent Buildings)은 최근 정보화 사회의 조기구현이 가능해짐에 따라 건물내 입주자의 업무효율 향상에 주안점을 두고 출발했던 오피스빌딩 중심에서 점차 교육, 병원, 공공, 주거시설 등으로 확산되어 현재는 산업전반에 걸친 인텔리전트화가 진행되고 있다. 정보통신기술 및 건물자동화기술의 발전에 따라 사용자의 요구가 다양해지고 사회적 환경 또한 첨단화 욕구에 부응하는 방향으로 유도되었기 때문에 건축물의 첨단설비 구축화는 보편화되어가는 추세이다.

특히 오피스 건축물에 비해 고도의 정보통신 네트워크 구축이 거의 없었던 주거용 건축물도 1997년 9월에 정부의 「주거용 건축물에 대한 구내통신 선로 설비 기술표준」이 공고됨에 따라 지금까지 오피스건물 중심으로 구축되어온 초고속 정보통신망 구축이 현재는 주거용 건축물인 오피스텔, 주상복합건물, 아파트, 단독주택 등으로 확산되고 있다. 이로써 건물의 첨단화는 주거용 건물에도 'Cyber Apartment' 라는 용어와 함께 일반 주거건물과의 차별화를 시도함으로써 입주자의 위상까지 등급화시키는 경향이 전개되고 있다.

또한 이러한 첨단화와 함께 환경에 대한 관심이 증대되면서 에너지절약형 건물, Green Building에 대한 연구와 설계가 병행되고 있다.

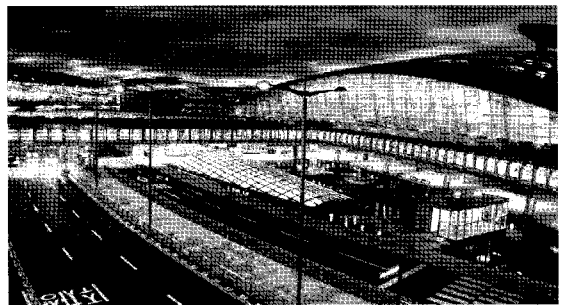
3. 첨단건설기술의 개발동향

(1) 전통적 건설장비

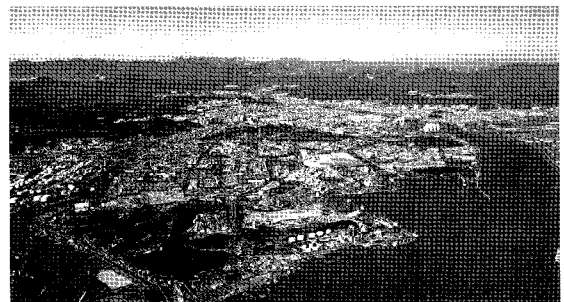
공사현장에서 많이 사용되고 있는 전통적 건설장비는 앞으로 크게 3가지 방향으로 발전할 것으로 예측된다.

① 초대형화

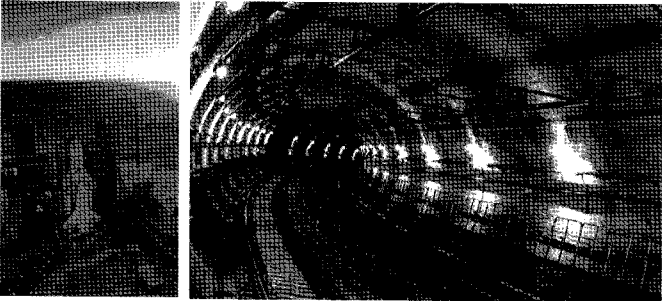
과거 전통적으로 사용되던 건설장비 가운데 토목공사용 장비는 그 규모가 아주 큰 형태로 발전될 전망이다. 세계적으로 볼 때 대규모 건설현장이 늘어나고 있다. 예를 들면 대규모 공항, 장거리 터널, 스페이스 셔틀 및 우주선 발사기지, 대규모 항만시설 등이 많이 건설될 것이다. 따라서 해안을 매립하거나 호안을 축조하거나 터널 공사를 위한 불도저 등은 이제는 70~100톤의 초대형 기계가 이미 실용화되고 있고, 굴삭기의 경우에도 버켓 용



대규모 공항



대규모 항만시설



우주선 발사기지

장거리 터널

량이 8.0m²라는 상상하기 힘들었던 크기의 굴삭기가 사용되고 있다.

② 초소형화

건설장비는 현재 초대형화라는 방향과 함께 초소형화라는 방향으로도 개발이 이루어지고 있으며 이와 같은 추세는 당분간 지속될 전망이다. 굴삭기는 초대형화되어가는 일면이 있는 반면 초소형화에 가장 앞선 기종이기도 하다. 몇 년 전부터 굴삭기는 0.02m²급의 초소형의 보급이 늘고있다. 이러한 굴삭기는 수도관 매설 등 도심지 좁은 공간에서의 작업 수요에 의한 것으로서 도심지역에서 작업하는 건설기계는 저소음화와 함께 작은 상부 회전반경을 특징으로 내세우고 있다. 굴삭기와 함께 쇼벨도 초소형 모델의 보급이 늘어나고 있다. 미니 쇼벨은 10여년 전부터 보급이 늘어난 기종으로서 이 기종 역시 도심지에서의 소규모 토공사에서 수요가 증가하고 있다.

③ 자동화와 로봇틱스(Automation & Robotics)

건설장비의 조종은 조종원의 능력에 전적으로 의존한다고 보아도 과언이 아니다. 따라서 과거부터 건설장비는 그 특성을 정확하게 파악하고 있는 조종원이 있어야

작업이 원활하게 할 수 있었다. 그러나 최근 3D 업종을 기피하는 사회현상에 따라 건설장비 조종을 기피하는 현상이 뚜렷해지고 있는 한편, 건설장비 조종을 장기간 종사할 직업으로 생각치 않고 있기 때문에 이직이 심하고 이에 따라 숙련된 조종원을 구하기 어려워지고 있는 것이 우리나라를 비롯한 선진외국의 최근 동향이다. 숙련된 조종원의 부족은 기능 저하

를 가져오게 되고, 정밀하지 못한 시공으로 부실시공이라는 결과를 초래하여 사회적 문제가 되기도 한다. 따라서 단기간의 훈련을 마친 조종원도 숙련된 조종원과 같은 기능을 발휘할 수 있도록 건설장비의 조종 기능 가운데 상당 부분을 컴퓨터가 담당하도록 함으로써, 조종원의 기능 부담을 최소화시키려는 목적으로 자동화/반자동화가 폭넓게 추진되고 있다.

건설장비의 자동화는 작업 또는 조종하기 어려운 기종과 안전상 문제가 발생할 염려가 많은 기종이 우선적으로 이루어지고 있으며 (예:모터 그레이더, 아스팔트 피니셔, 진동 롤러, 크레인 등), 인력으로는 원하는 시공 결과를 얻기 곤란한 기종(예:아스팔트 피니셔, 굴삭기)을 대상으로도 건설장비의 자동화/반자동화가 이루어지고



무인화 시공

있다. 또한 자동화/반자동화에 의하여 작업능률을 향상시킬 수 있는 기종(예: 타워 크레인)도 그 대상이 되고 있다. 그 이외에도 많은 종류의 건설장비가 자동화/반자동화에 의하여 시공성을 향상시킬 수 있으므로 건설장비의 자동화/반자동화는 단기적으로는 국내 건설업체 및 건설장비 제작업체들이 적극적으로 추진해야 할 필요가 있으며, 고도의 기술을 요하지 않으면서도 상업적 성공을 기대할 수 있다고 본다.

(2) 특수기능을 갖는 건설용 장비

건설장비 관리법의 적용을 받는 전통적 건설장비 이외에도 건설현장에서는 많은 건설용 장비가 있다. 그 중 과거부터 많이 사용되고 있거나 최근 개발된 장비를 토대로 미래의 개발 동향을 예측해 보기로 한다.

① RRM(Road Recycling Machine) 類

도심지의 자동차용 아스팔트 포장 도로는 사용하면서 덧씌우기 등 보수를 계속하지만 어느 시점에 가서는 포장층을 모두 걷어내고 재포장을 해야 할 필요성이 있는데 이때 사용되는 아스팔트 보수용 장비가 RRM이다. 이 장비는 기존의 걷어낸 아스팔트 콘크리트의 재활용이

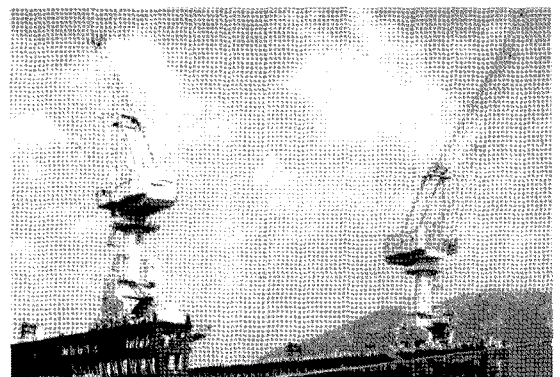


RRM

가능하므로 환경보호라는 장점과 함께 재료비를 절약할 수 있다는 장점이 있다. 최근의 유럽 및 일본의 건설장비 전시회에서는 이 장비가 계속 출품되고 있으며 장비 제조업체도 시장성이 높을 것으로 판단하고 있다. 이 RRM 장비의 기술은 걷어낸 기존의 아스팔트 콘크리트와 신규 아스콘 재료와의 혼합비율이 핵심이므로, 아스팔트 콘크리트 커팅 장치, 혼합 장치 및 재포설 장치 등 메카니즘의 발전과 함께 혼합물 제어 장치의 인공지능화 방향으로 개발이 이루어질 것이다. 이와 함께 지금까지는 평탄한 도로의 재포장만을 염두에 두고 RRM을 개발하였으나, 종단 구매 및 횡단 구매가 큰 도로의 굴곡부분까지도 시공 가능한 시스템을 구성하지 않으면 안될 것으로 예측된다.

② Luffing Crane 類

우리나라의 고층 건축물 또는 교각 건설 현장에서 사용되고 있는 타워 크레인은 T형으로서 현재까지는 별다른 문제가 없었으나, 도심지의 좁은 공간에서 고층건물을 건설할 경우에는 타워 크레인의 회전시 인접한 건물의 상부 또는 인도 및 차도 윗부분을 중량물을 기중한 상태에서 통과하므로 사고 발생시 큰 피해를 발생시킬 염

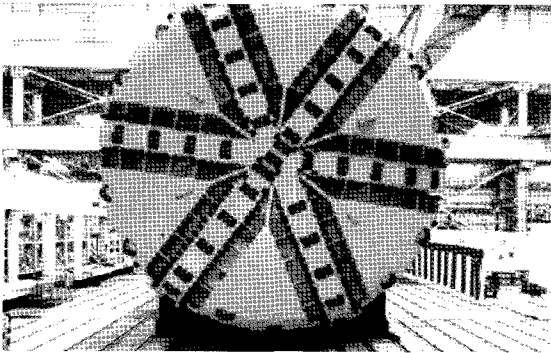
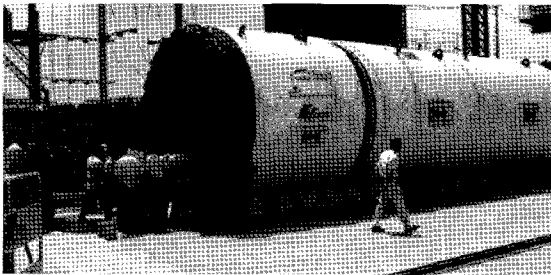


Luffing Crane

려가 있다. 일본은 이미 도심지역의 고층건물 건설현장에서 T형 타워 크레인은 찾아보기 힘들다. 우리나라에서도 최근에는 도심지의 건축현장에서는 T형 대신에 Luffing Crane이 증가하고 있는 추세이다. 또한 인접한 타워 크레인이 있는 경우 T형 타워 크레인보다도 충돌의 위험이 적다는 것도 Luffing Crane의 이용을 증가시키는 이유라고 할 수 있다. Luffing Crane은 구조상 상승방법이 불안정하므로 이를 안정시킬 수 있는 방법이 향후 필요하며, 크레인의 기동능력을 최대로 발휘할 수 있도록 하중 및 경사각 센서를 이용한 기중 콘트롤 시스템이 수요를 이룰 것으로 예측된다.

③ TBM/Shield Machine

암반지대의 터널 공사를 목적으로 하는 TBM은 국내에도 도입되어 활용되고 있는 장비로서 TBM에는 시공 방향을 지정하기 위한 레이저 계측장치가 많이 사용되



고있다. 이 장비는 높은 가격으로 인하여 보급대수가 적으므로 아직은 기계적으로 조금 더 발전한 뒤에 자동제어의 개념이 도입될 것으로 보인다. 한편, Shield Machine은 일본지역에서 많은 시공사례가 보고되고 있다. 이 장비에서는 굴착용 세그먼트(segment)의 운반 및 교환이 가장 큰 문제로 나타나고 있으므로 이를 해결하기 위한 연구가 많이 수행되고 있으며, 굴착방향을 올바르게 유지하기 위하여 레이저/적외선을 이용한 방향 제어 장치 등도 많이 개발되고 있다.

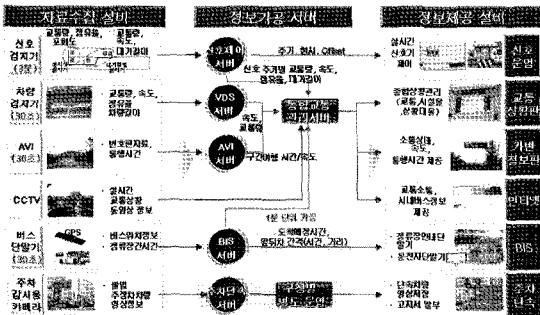
4. 건설산업의 자동화 영역

건설장비의 자동화/반자동화의 목표는 건설현장에서 ①작업속도 향상, ②시공품질 향상, ③안전성 향상, ④공사비 절감, ⑤기능인력절감이다. 이러한 목표를 달성하기 위한 방법으로서 ①건설장비의 자동화/반자동화, ②건설의 첨단화 등이 요구된다. 이제 우리나라 건설산업에서도 자동화 관점에서 건설의 첨단화에 대비하여야 할 것이다.

(1) ITS(Intelligent Traffic System)

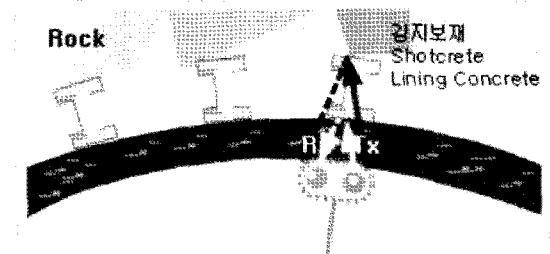
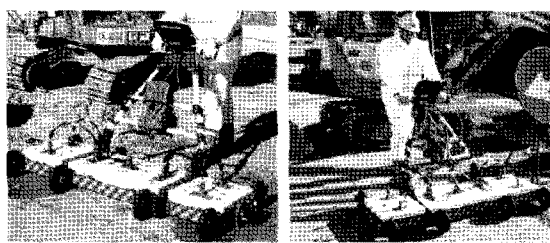
이 시스템은 일본의 건설관련 정부기관이 추진하고 있는 것으로 과거 건설분야의 주된 업무 영역이라고 생각치 않았던 센싱(sensing), 제어(control), 유선 통신, 무선 통신, 위성통신 등의 기술을 적용하고 있다. 고속도로 톨게이트에서 차량이 고속으로 통과하면서도 별도의 Tag를 부착하지 않고 요금을 부과할 수 있도록 이미 일본은 수년 전부터 차량의 번호판 인식을 위하여 2.4GHz의 데이터 주파수를 사용하고 있다. 건설장비와 지상 중계기와의 데이터 통신에는 420MHz 밴드가 사용되고

있으며, 중계기와 종합 센터 사이에는 50GHz 밴드와 160MHz 밴드가 사용되고 있는 추세이다. 이러한 기술은 머지않아 각국의 건설업체들이 도입해야 할 기술이 될 것이다. 우리나라에서는 상대적으로 발전하지 못하였던 정보 통신기술이 앞으로 빠르게 발전할 것이므로 국내 건설업체도 이러한 기술을 관리할 수 있는 능력을 갖추어야 할 것이다.



(2) GPR(Ground Penetrating Radar)

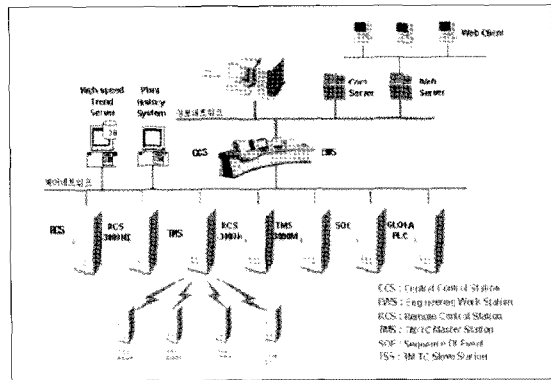
도심지역의 각종 공사시에는 지중의 가스관, 수도관의 존재여부를 알지 못해 굴착시 불측의 사고를 초래하는



사례가 많았다. 이에 최근에는 지중의 매설물을 지상에서 탐지하는 GPR 장치들이 개발되어 사용되고 있으며 앞으로 그 수요는 늘어날 것으로 예측된다. 이 GPR은 아직 그 기술이 안정되지 않았으나 현장에서의 필요성 때문에 현재 개발된 상태의 GPR을 그대로 사용하고 있으므로 계속 결과를 판독하기 위해서는 토목 기술자와 함께 전자 기술자의 도움이 효과적인 것으로 알려지고 있다. 또한 GPR의 개발이 건설과는 전혀 관계없는 Radar 생산 업체에서 개발되고 있는 관계로 지반의 종류에 따른 반사파의 분석 능력이 뒤지는 등 건설분야에서 주도적으로 해결해야할 문제들이 있다.

(3) 계측제어기술

노후 건축물의 유지 보수에 첨단 계측 제어 기술을 사용한 일본 大阪城 天守閣의 개보수 사례를 들 수 있다. 1584년에 신축되어 1665년에 전소된 뒤, 1931년에 재건된 大阪城 天守閣의 1997년 일대 보수공사에서, 콘크리트 구조물 및 철근의 부식상태를 모니터링 하기 위하여 벽체에 구멍을 뚫고 철근 주위에 미니 센서와 작용전극을 삽입한 뒤, 충전제로 충전하여 건물 구조체의 부식 상태를 자동 모니터링하는 시스템을 도입하여 원격지에서



정수장계측제어시스템

지속적인 관찰이 가능하도록 하였다. 이는 건설분야에서 제어관련기술의 활용 가능성을 보여주는 일례라고 할 수 있다.

(4) 메카트로닉스(Mechatronics)의 활용

메카트로닉스란 기계기술(Mechanics)과 전자기술(Electronics)의 합성어이다. 과거의 기계장치는 사람이 운용하는 것이 많았으나 최근 전자기술의 발달로 기계장치에 전자 제어장치가 부착되어 있는 것을 쉽게 볼 수 있다. 그런데 이를 효과적으로 운용, 유지 관리, 보수, 정비하기 위해서는 기계분야의 기술인력이나 전자기술 인력만으로는 효과를 발휘할 수 없다. 따라서, 앞으로 건설업체에서도 이들 두 가지 분야의 기술을 가진 인력이나 인력의 집합인 메카트로닉스 기술인력을 양성하기 위한 준비를 해야 할 것이다.

일본에서는 오래전부터 건설업체에 메카트로닉스 부서를 설치하고, 자동화 시공법 및 장치의 개발을 활성화하여 판매하는 등 과거 건설분야의 업무 영역이라고 생각하지 않았던 분야에서의 연구 개발을 통하여 수주 영역을 넓혀나가고 있다.

5. 맺음말

지금까지 첨단건설기술의 활용과 개발동향 및 건설자동화의 영역에 대하여 살펴보았다. 최근 많은 건설업체들이 신기술 개발에 열의를 보이고 있으나 그 목표설정이 건설산업의 발전과는 다소 거리가 있어 보인다. 즉 공공공사에서 PQ 가산점을 받거나, 신기술 적용으로 인한 공기단축과 원가절감에 대하여 포상이나 승진 등의 보상을 받기 위한 목적으로 신기술 개발에 임하고 있는 실

정이다. 그러나 미래의 건설을 생각한다면 이와 같은 미시적인 차원의 접근보다는 좀 더 적극적인 자세로 신기술의 개발과 도입에 관심을 가져야 할 것이다. 지금 세계의 건설공사 현장은 그 모습이 빠르게 변하고 있다. 이제 국내의 건설현장도 첨단 기술을 받아들일 준비를 하여야 한다. 개발 비용이 높은 기술을 우리나라 건설업체에서 다시 개발할 필요는 없다고 본다. 이미 개발된 안정되고 값싼 기술을 공사 현장에 도입하여 작업 효율을 향상시키는 자동화/반자동화는 최소 비용으로 큰 파급효과를 가져올 수 있다.

신기술을 개발할 경우에는 현장 시공성을 충분히 고려하여 개발하여야 하며 기술개발의 방향은 현장 시공성을 향상시키는 방향으로 진행되어야 한다. 또한 이에 못지않게 이미 개발된 신기술에 대한 신뢰도 중요하다. 개발된 신기술의 시공이 어려움이나 정밀시공 능력에 대한 불신 등의 이유로 인하여 현장적용의 단계도 거치지 못하고 사장되는 경우가 많기 때문이다. 국가의 건설산업 수준과 건설기술의 개발은 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 따라서 정부차원에서 건설선진국의 기술투자의 규모와 개발현황에 대한 분석을 통하여 건설기술의 개발을 위한 전략을 수립하고, 대형건설업체를 중심으로 연구개발을 위한 자발적이고 지속적인 투자를 유도할 필요가 있다. 또한 건설기업에서는 개발된 기술의 실용화를 촉진하기 위한 테스트 베드를 제공하는데 최선을 다해야 할 것이다. 앞으로 건설산업의 경쟁력은 고급건설기술인력과 첨단건설기술의 보유수준에 의하여 결정된다는 것을 인지하여 교육과 연구개발에 치중한다면 빠른 시일 안에 국내 건설산업의 선진화를 이룰 수 있을 것이다.