

# 스마트 건설기술 동향 및 발전 방향 (토공사 부문의 XiteCloud 기술적용 사례를 중심으로)



글 이승수 / 현대두산인프라코어 XiteCloud 팀장 전화 010-3633-8845 E-mail bruce@xitecloud.io

## 이 서론

한국생산성본부의 산업별 노동생산성 지수를 살펴보면, 2015년을 기준 (100)으로 건설업은 2020년 99.2로서 오히려 하락하였다 (한국생산성본부, 2020). 광공업 (117.2), 서비스업 (108.7) 등 대부분의 산업이 꾸준한 상승세를 기록하고 있는 점을 고려할 때 시사하는 점이 매우 크다. 2020년 산업별 산업재해로 인한 노동자의 사망자수는 건설업이 458명으로서 제조업 (201명)과 기타 산업 (223명)의 합계보다 많다 (통계청, 2021). 건설산업의 주요 재해 요인은 전도, 협착, 비레, 낙하, 추락 등 후진국형 재해가 대다수이다.

국토교통부는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 “Smart Construction 2025”를 제 6차 건설기술진흥 기본계획의 비전으로 설정하였다 (국토교통부, 2020). 건설 생산성 25% 이상 향상, 건설 공기 25% 이상 단축 및 건설 재해율 25% 이상 감소 및 건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상을 목표로 하며, 이를 통해 국내 글로벌 건설시장을 선도하겠다는 목표이다.

첫 번째 노력의 일환으로 국가계약법, 계약예규 등 법령을 개정하여 공공 공사에 스마트 건설기술의 적용을 위한 기술형 입찰제도<sup>①</sup>를 활성화 하고 있다. 2020년에 총 13건 (약 2조 837억), 2021년 총 39건 (약 7조 5810억)이 적용되었다. 설계 심의에서 전문적인 평가가 진행될 수 있도록 2020년에는 스마트 건설 전문분과 (국토교통부 중앙건설심의회위원회)가 신설되어 운영되고 있다.

두 번째, 정부의 주도로 2020년부터 대규모 스마트 건설 시범사업을 시행하여 스마트 건설기술의 실증을 통해 활성화를 도모하고 있다. 수자원공사의 “एको델타시티”, LH공사의 “세종 5-1 생활권”, 한국도로공사의 “양평-이천 고속도로” 및 국가철도공단단의 “수원-인덕원 복선전철” 프로젝트가 대표적이다.

세 번째로 스마트 건설기술의 표준화를 위해 노력하고 있다. 2020년 드론을 활용한 측량에 대한 표준품셈을 제정하였다. 2021년부터는 머신가이던스(Machine Guidance)<sup>②</sup>에 대한 표준품셈 제정을 위해 준비하고 있다. 또한, 스마트 건설기술이 공사에 적절히 반영되기 위한 표준공사시방서도 작성배포하고 있다. 2021년 지능형 다짐에 대한 국가 표준코드가 배포되었고, LH공사에서는 머신가이던스 표준시방서를 작성하였다.

이와 같이 국내 건설공사는 정부 주도적으로 스마트 건설기술의 도입 및 활성화가 진행되고 있다. 본 고에서는 건설공사의 수많은 공종 가운데 수평적이고 비정형적인 환경으로 공사관리가 가장 어려운 토공사를 대상으로 한 스마트 건설기술에 대해 소개하고자 한다. 나아가 현대두산인프라코어의 토공사를 대상으로 한 통합 스마트건설 플랫폼 ‘사이트클라우드 (XiteCloud)<sup>③</sup>’의 적용사례를 통해 바람직한 발전방향에 대해서 제안하고자 한다.

① “기술형입찰제도”는 계약상대자가 설계단계부터 참여하여 설계를 직접 하거나 기존 설계를 보완 후 시공하는 제도로서 건설 품질 제고 뿐만 아니라 기술경쟁력을 강화할 수 있는 입찰 방식  
 ② 머신가이던스 (Machine Guidance): 건설장비에 고정밀 GPS 및 센서를 부착하고, 계획도면정보를 입력하여 실시간 굴착 목표 및 종횡단 구배에 대한 측량 정보를 운전자에게 제공하는 장치  
 ③ 사이트클라우드 (XiteCloud): 현대두산인프라코어의 신사업으로 시작하여 지난 2020년 출시한 All-In-One 스마트건설 통합 플랫폼

## 02 토공사에 적용되는 스마트 건설기술

국토교통부에서 정의하는 스마트건설기술은 “공사기간 단축, 인력 투입 절감, 현장 안전 제고 등을 목적으로 전통적인 건설기술에 ICT 등 첨단 스마트 기술을 적용함으로써 건설공사의 생산성, 안전성, 품질 등을 향상시키고, 건설공사 전 단계의 디지털화, 자동화, 공장제작 등을 통한 건설산업의 발전을 목적으로 개발된 공법, 장비, 시스템 등을 의미한다” (국토교통부, 2021).

[그림 1] 스마트 건설기술 개념 (국토교통부, 2018)

	설계	시공	유지관리
패러다임 변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D 설계</li> <li>• 단계별 분절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장 생산</li> <li>• 인력 의존</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정보 단절</li> <li>• 현장 방문</li> <li>• 주관적</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4D↑ BIM 설계</li> <li>• 전 단계 융합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모듈화, 제조업화</li> <li>• 자동화, 현장 관제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정보 피드백</li> <li>• 원격제어</li> <li>• 과학적</li> </ul>
적용기술	   	   	  

토공사의 환경은 비정형적이고, 수평적으로 광역의 조건을 가진다. 토사의 유용을 얼마나 효율적으로 계획하고, 건설기계장비를 어떻게 효과적으로 운용하는지가 공사의 생산성, 품질 및 안전을 좌우한다. 따라서 광역의 비정형적인 현장의 전반적인 상황을 모니터링하고 관리하기 위한 스마트 “건설관제기술”과 현장에 투입된 장비의 생산성과 안전성을 고려한 스마트 “현장시공 및 안전”관련 기술이 주로 적용되고 있다 [그림 2].

[그림 2] 토공사의 주요 스마트 건설 기술

건설 관제/관리 기술	현장 시공 기술	현장 안전 기술
 <p>디지털 트윈 / BIM</p>	 <p>굴착기 머신가이던스</p>	 <p>장비 협착 방지 기술</p>
 <p>드론 측량 / 분석</p>	 <p>도저 / 그레이더 머신 콘트롤</p>	 <p>360도 AVM</p>
 <p>건설장비 관제</p>	 <p>지능형 다짐</p>	 <p>작업자 안전관리 시스템</p>
 <p>지능형 CCTV</p>	 <p>Weighing</p>	 <p>IoT기반 클린로드</p>
 <p>통합 관제센터 구축</p>	 <p>건설 자동화 기술</p>	 <p>침수대응 임시차우 시스템</p>

토공사의 건설관제기술은 공사현장의 디지털트윈 (Digital Twin)기술이 많이 적용되고 있다. 디지털트윈이란 실제 공사현장의 모습을 3차원으로 가상화하여 정보를 유통하는 기술로서, 최근에는 메타버스라는 기술과도 개념이 같다. 일반적으로 광역의 현장을 신속하게 가상화 할 수 있는 드론 측량 기술이 많이 적용되고 있다. 또한, 인터넷 환경의 클라우드 기술로 “언제, 어디서나, 누구든지” 현장 디지털트윈에 접속하여 원하는 정보를 분석하고, 모니터링할 수 있다.

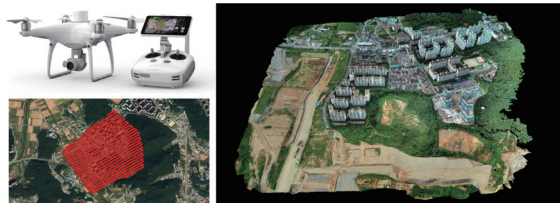
스마트 현장시공 및 안전기술은 주로 현장에 투입된 건설기계장비에 장착되어 기능이 구현되는 레트로핏 (Retrofit) 형태의 시스템으로 적용된다. 대표적인 기술로 3D 머신가이던스가 굴착기, 도저, 그레이

더 등에 장착되어 시공 생산성과 공사품질을 향상시키고 있다. 또한, 레이더, 영상 및 통신기술을 활용하여 건설기계장비와 주변의 작업자간 협착 및 충돌을 방지하는 안전기술도 많이 보급되고 있다.

## 2.1 드론측량 및 분석 기술

드론측량은 무인비행장치 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하여 촬영된 중첩이미지를 활용하여 3차원 가상모델을 작성하고, 이를 분석 및 시뮬레이션 등에 활용하는 기술이다 (대한전문건설협회, 2020). 최근 드론측량 결과물은 정밀도가 크게 향상되었다. 고정밀 GPS를 활용한 드론을 통해 획득한 이미지에 지상기준점 (Ground Control Points)을 입력하여 3차원 모델을 생성하면 약 ±5cm 이하의 정밀도를 확보할 수 있다.

[그림 3] 드론측량 및 현장가상화모델 (쌍용건설 검단 2-2공구)



드론측량 비행경로

드론측량 3차원 모델링 결과물

[그림 4] XiteAnalyst 솔루션 주요기능



3차원 디지털 분석 및 시각화

자동 토공관리 문서 산출

토공사의 진도 관리는 물량을 기반으로 수행된다. 전통적인 방식으로는 측량사가 측량기를 가지고 광역의 현장을 일일이 점측량을 수행하고 취득된 점 정보 (X, Y, Z)를 종횡단 도면에 입력하고 업데이트된 단면적을 계산하여 양 단면평균법을 통해 계산한다. 이 과정에서 측량과정에서 고소지역 등 안전상의 문제, 낮은 사무생산성 및 부정확한 결과로 많은 문제점이 발견된다.

드론측량을 통한 현장 가상화 모델은 클라우드 기반의 분석시스템에 많이 응용되고 있다. 대부분의 플랫폼

은 3차원 GIS (Geographic Information System) 기술을 활용하여 공간을 단위 규격으로 정보화하여 사용자가 원하는 구역의 토공량을 가감하는 디지털 물량해석 방식을 활용한다. 그러나 국내 대부분의 토공현장은 기성문서 등 문서 관리의 표준이 종횡단 정보를 기준으로 한다. 따라서 이러한 관리표준이 개선되지 않는 한 횡단분석 기준선 (station line)의 단면을 CAD로 출력하고, 이에 따른 계산결과를 토적표로 작성하여야 한다. 특히 토공사의 시공금액은 암층별 물량에 따라 크게 변화한다. 드론측량 기반의 분석플랫폼이 현재의 현장 표준에 부합하기 위해서는 이러한 기능이 모두 지원되어야 한다. 현대대수산업프라코어의 “XiteAnalyst” 드론 솔루션은 이러한 표준을 지원하고 자동으로 종횡단 분석 CAD 및 토적표를 작성하여 생산성을 크게 향상시킬 수 있다

## 2.2 장비군 관제 기술

토공사는 굴착기, 도저, 그레이더 등의 굴착장비와 덤프트럭 등의 운반장비를 통해 공사가 진행된다. 따라서 효율적인 장비군의 운영은 공사의 가격, 생산성 및 안전에 중요한 관리 포인트이다.

토공사의 장비군 관제에 필요한 대표적 두 가지의 기능은 첫 번째, 현장에 투입된 모든 장비의 위치를 모니터링 하는 것이다. 이를 통해 관리자는 어디에서 운반장비의 병목현상 및 휴지시간 (Idle Time)이 발생되는 지 인지할 수 있다. 이를 통해 관리자는 최적의 장비조합 계획을 수립하여 효율적이고 경제적인 장비군 운영이 가능하다.

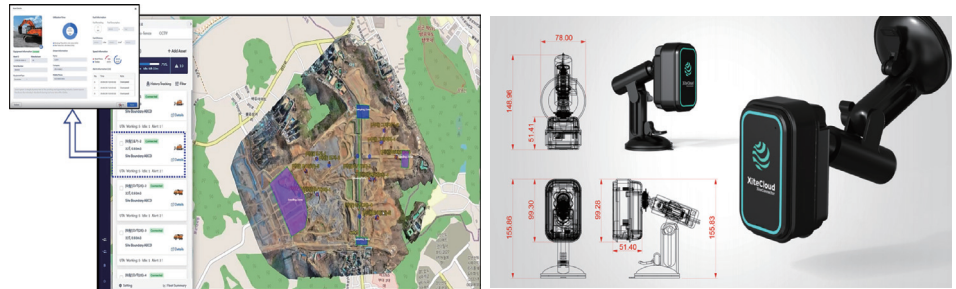
두 번째는 투입된 장비의 작업에 대한 이력관리가 가능하고 자동문서화 기능이 지원되어야 한다. 굴착장비의 경우, 대부분 일대 혹은 월대로 대가가 계상이 되기 때문에 이를 문서화하고, 이력이 저장되어야 한다. 운반장비의 경우, 운반횟수 혹은 일대 등 다양한 방법으로 대가가 계상이 될 수 있어야 한다. 전통적인 방식으로는 장비담당자가 대부분 수기로 기입 혹은 전표를 작성하여 계상함으로써 비효율적이며 비신뢰적인 정보가 기록될 수 있다.

장비군 관제 솔루션이 현장에 원활하게 적용되기 위해서는 장비의 정보를 획득하기 위한 시스템의 설/해체가 편리하여야 한다. 상용화된 많은 솔루션은 장비군 관제를 위해 장비에 복잡한 케이블 연결 작업이 필요하다. 혹은 휴대폰 앱으로 개발되어 장치내의 GPS 정보를 플랫폼과 연계하는 방식이 대부분이다. 그러나 외부 운반장비의 경우, 매우 빈번하게 변경되어 매번 설/해체를 진행하거나, 운전자에게 휴대폰에 앱을 설치하여 교육하는 것은 여간 어려운 작업이 아니다.

현대두산인프라코어에서 개발한 "XiteFleet" 솔루션은 설치가 매우 간편한 단말기를 이용하는 장비군 관제 플랫폼이다. 건설기계장비의 시거잭에 꽂으면 단말기에 내장된 GPS 및 방향각 센서로부터 정보가 클라우드 서버로 자동 전송된다. 단말기에 NFC 태그가 내장되어 있어 설치전 앱을 통해 차량 번호와 장비종류만 입력하면 자동 설정이 완료된다.

그림 5와 같이 XiteAnalyst로부터 3차원 가상화된 현장모델에 각 장비의 위치가 모니터링 가능하다. 또한, 자체 개발한 고도화 알고리즘을 통해 각 장비의 가동시간, 대기시간, 주행시간이 자동 기록되며, 덤프 트럭의 운반횟수를 자동 기록하여 자동문서화가 가능하다.

[그림 5] XiteFleet 솔루션 화면구성 및 응용 단말기



XiteFleet 솔루션 장비군 관제 인터페이스

XiteFleet의 장비 데이터 수집 단말기 "XiteConnector"

### 2.3 3차원 머신가이던스 기술

토공사의 시공 생산성과 품질은 굴착기, 도저, 그레이더 등의 굴착장비와 다짐롤러 등의 마감장비에 따라 결정된다. 전통적인 방식의 토공사의 작업 방법은 시공 전 공사범위 및 목표를 지표면에 표시하는 측설 (Stake-out)작업을 수행한다. 또한 굴착과정에서 측량사가 장비와 협업하여 품질을 마감한다. 이러한 과정의 프로세스를 혁신하여 생산성과 품질을 크게 향상시킬 수 있는 기술이 머신가이던스 기술이다.

3D 머신가이던스는 굴착장비에 고정밀 GPS와 가속도 센서를 부착하여 버킷 및 블레이드의 전단부 위치를 해석하고, 입력된 3차원 계획도면으로부터 작업해야 할 목표정보를 제공하는 기술이다. 따라서 운전자는 측량사의 도움 없이 굴착해야 할 깊이와 버킷/블레이드 끝단의 중횡단 형상정보를 실시간 확인하면서 작업을 수행할 수 있다 [그림 6].

[그림 6] 3D 머신가이던스 단말기 화면



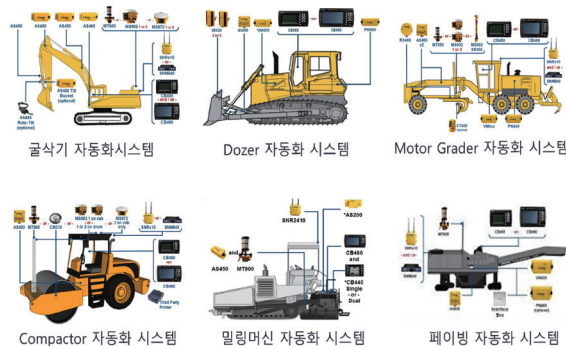
진여 굴착 깊이

굴착 형상 정보

3D 머신가이던스는 3cm 이내의 정밀도로 시공이 가능하며 다양한 장비에 응용이 되고 있다. 굴착기, 도저, 그레이더 등 굴착장비는 물론, 다짐롤러, 아스팔트 포장장비(Asphalt Paver) 및 천공(Drilling) 장비가 대표적이다 [그림 7]. 최근에는 장비의 유압제

어 시스템을 자동화 하여 마감작업시 운전자가 조이스틱의 버튼을 누르면 자동제어되는 머신콘트롤 (Machine Control)이라는 기술이 출시되어 상용화 되고 있다. 머신콘트롤은 주행과 동시에 블레이드의 제어가 필요한 도저 및 그레이더에 주로 적용되는 추세이다.

[그림 7] 3D 머신가이던스 종류 (Trimble Inc.)

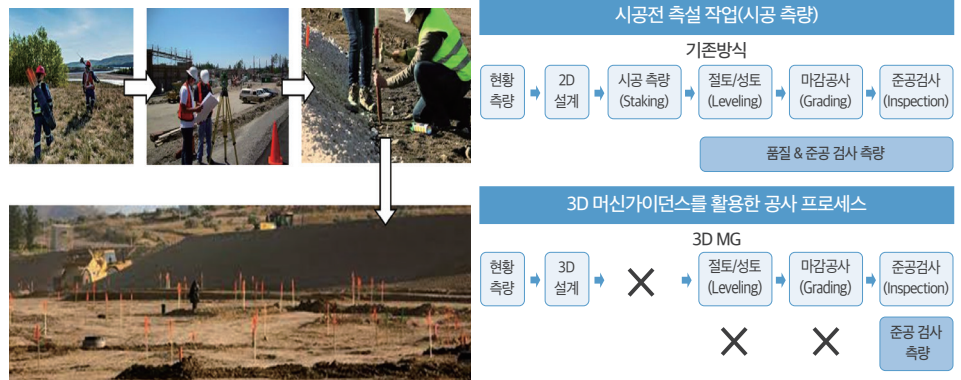


현대두산인프라코어의 북유럽 지역 3D 머신가이던스에 대한 실태조사에 따르면, 3D 머신가이던스의 적용을 통해 평균 43.27%의 생산성 증대효과가 발생한다고 한다. 이는 단순히 3D 머신가이던스의 적용을 통해 시공속도가 향상되는 것이 아니다. 조사에 따르면, 3D 머신가이던스의 적용을 통해 사전 측설작업의 최소화 및 굴착중 측량사와의 협업이 불필요함으로써 생산성이 크게 증대된다고 한다.

현대두산인프라코어의 북유럽 지역 3D 머신가이던스에 대한 실태조사에 따르면, 3D 머신가이던스의 적용을 통해 평균 43.27%의 생산성 증대효과가 발생한다고 한다. 이는 단순히 3D 머신가이던스의 적용을 통해 시공속도가 향상되는 것이 아니다. 조사에 따르면, 3D 머신가이던스의 적용을 통해 사전 측설작업의 최소화 및 굴착중 측량사와의 협업이 불필요함으로써 생산성이 크게 증대된다고 한다.

이러한 효과는 그림 8과 같이 토공사 공정의 프로세스의 혁신에 기인한다. 기존 전통적 방식과 비교할 때, 사전 측설작업 (시공측량) 및 굴착과정에서의 측량작업이 불필요하여 비용 및 시간적으로 큰 효과가 발휘될 수 있다. 특히, 중력배수를 위한 구배형성이 중요한 관로공사, 측설작업이 많은 법면 및 도로공사 등에 굉장히 효과적이다. 또한, 굴착과정에서 장비 주변에 측량사 등이 위치하지 않기 때문에 안전성 측면에서도 굉장히 유리한 기술이다.

[그림 8] 3D 머신가이던스를 활용한 건설 프로세스 개선





그러나 국내의 경우, 3D 머신가이던스의 적용이 비효율적으로 적용되고 있는 실정이다. 이는 3D 머신가이던스 적용을 통한 프로세스의 개선이 이루어 지지 않고 있다는 의미이다. 설계단계부터 3D 머신가이던스의 적용을 통해 축설작업의 최소화 등 불필요한 공정요소를 줄여나가야 효과가 발생된다. 현재 도입 초기의 단계에서는 3D 머신가이던스의 적용으로 단지 시공속도의 개선만 느낄 뿐, 비싼 임대료만 더 지불되고 있는 경우가 많다.

또한, 3D 머신가이던스의 운용을 위해서는 3차원 설계도면의 입력이 필요하다. 북유럽의 경우 3차원 BIM (Building Information Modeling) 설계가 표준화 되어 있어 적용하기가 용이하다. 그러나 국내의 경우 여전히 2D 설계가 대부분이기 때문에 별도의 3D 도면변환 작업이 수반되어야 한다.

## 2.4 건설장비 협착방지 기술

토공사에 투입되는 건설기계장비는 사각지대가 많고, 주변의 상황보다는 작업의 목표에 신경을 많이 쓰기 때문에 협착, 충돌 등의 재래식 사고가 많이 발생되고 있다. 2022년 1월 27일 중대재해처벌법이 적용되면서 토공사에서 빈번히 발생하는 사고를 줄이기 위한 많은 기술이 적용되고 있다. 건설기계장비에 Radar, 영상장치 및 통신안테나 등의 감지센서를 장착하여 작업반경내의 작업인력을 인식하여 경보를 울리거나 장비의 제어를 자동으로 통제하는 기술이 선보이고 있다. 딥러닝기술을 활용하여 건설근로자의 모습을 학습시켜 어라운드뷰 모니터링 시스템 (AVM: Around View Monitoring)에서 근로자를 인지하는 기술이 고도화 되고 있다. 그러나 여전히 인식률이 100% 보장이 되지 못하기 때문에 상용화에는 한계가 있다.

따라서 현대두산인프라코어에서는 건설장비 주변의 작업자를 신뢰적으로 인식할 수 있는 안전시스템 “XiteSafety”을 출시하였다. 굴착기에 UWB\*방식의 통신안테나를 설치하고, 작업자의 헬멧에 부착된 스마트 태그를 인식하여 통신 강도에 따른 상대적 거리를 계산하는 방식이다. 굴착기, 도저 등 건설장비의 제원에 따라 작업반경이 다르므로 통신 감지강도의 사전 세팅을 통해 최적화 안전구역 (Safety Zone)을 설정하여 작업을 수행 할 수 있다. [그림 9]는 XiteSafety 상품에 대한 개요도이다.

[그림 9] XiteSafety 장비안전장치 구성도



XiteSafety를 구성하는 안테나는 장비군 관제기술 XiteFleet에 활용되는 단말기에 확장형 케이블을 연결하여 설치된다. 만약 건설장비 작업반경 범위내에 작업자가 인식되면 경보음이 울리고, XiteFleet 단말기를 통해 플랫폼으로 정보가 전송되어 관리자가 모니터링할 수 있도록 기능이 구현된다. 나아가 안테나의 케이블을 연장하여 굴착기의 유압제어 On/Off 장치에 릴레이를 설치함으로써 작업자 인식시 자동으로 유압을 차단하여 능동적으로 장비가 정지하도록 하는 액티브한 안전기능도 제공할 수 있다.

④ UWB (Ultra-wideband): 기존의 스펙트럼에 비해 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 대용량의 정보를 전송하는 무선통신 기술 (Wikipedia, 2022)

### 03

## 통합 관제 플랫폼 기술의 발전

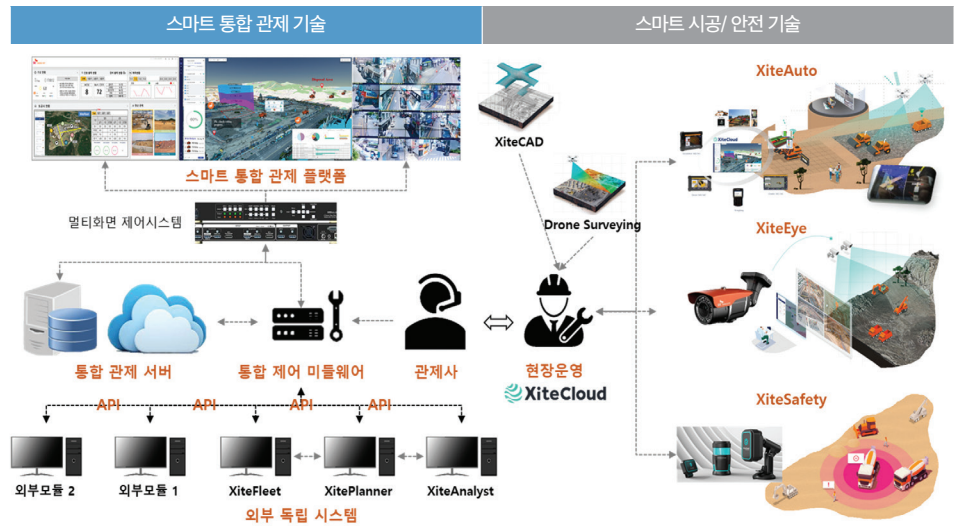
건설공사의 경우, 일반적인 제조업과 달리 모든 프로젝트마다 설계, 목적, 공사환경이 다르기 때문에 매번 최적화된 스마트 건설기술의 투입이 필요하다. 또한, 수많은 스마트 건설기술의 단위요소기술 또는 상품이 프로젝트마다 설계가 되고 있으나, 시공관리자 입장에서는 아무리 개별상품성이 뛰어나더라도 모두 관리가 어렵다는 한계가 있다. 즉, 설계단계에서 스마트 건설기술을 각 요소기술별로 최고 가치로 선정하였다 하더라도, 모든 기술의 HW/SW를 설치하고 배워서 응용하는 데는 한계가 있다.

따라서 각 프로젝트별 투입된 모든 기술의 정보가 통합되어 실시간 모니터링이 가능하고 관리가 가능한 통합 관제 플랫폼 기술로 발전되고 있다. 통합 관제 플랫폼 기술은 그림 10과 같이 프로젝트에 투입된 모든 스마트 건설기술의 정보를 실시간 서버로 통합하고, 유연한 구조의 통합 대시보드를 통해 정보를 시각화 하는 기능을 가진다.

토공사의 통합 관제 플랫폼에 기본적으로 통합되는 정보는 현장가상화 (드론측량), 날씨 및 기상정보, 인력 및 장비 투입현황, 장비군 관제, 계측센서 정보, CCTV 등이다. 공사 현장에 따라 민원현황, 공정률, 자원관리 정보를 통합하는 현상도 있다.

통합 관제 플랫폼 기술에는 단위 요소기술의 정보를 API(Application Programming Interface)를 통해 통합 DB화하고 시각화 할 수 있는 시스템 구성이 필요하다. 통합 관제 대시보드, 통합 서버, 화면제어 스위치, 통합제어 미들웨어 시스템이 대표적이다. 특히, 관리자 시스템인 통합제어 미들웨어는 모든 외부 기술의 API 설정, 통신상태 확인, 데이터 패킷 및 주기의 설정 등 많은 단위기술이 서버로 통합되기 위한 신호등과 같은 역할을 한다. 점차 자동화/무인화 기술로 발전하면서 통신의 연결상태, 정보의 실시간 연계가 중요해 지면서, 가장 핵심기술로 발전하고 있다.

[그림 10] 통합 관제 플랫폼 시스템 구성도 (XiteCenter)



### 04

## 자동화/무인화 기술의 발전

건설분야의 자동화 로봇틱스 기술의 시장이 크게 확산되고 있으며, 연평균 23.3%의 급성장이 진행되고 있다 (Allied Market Research, 2020). 자율주행기술이 핵심인 광산, 채석장의 경우 미국 ASI (Autonomous Solutions, Inc) 등의 업체에서 무인화 기술을 이미 상용화 중에 있다.

최근 일본의 카지마건설 사례와 같이 성토공사 유형의 고도값의 고려 없이 덤프가 운반한 토사를 도져

가 넓게 산포/정지하고, 일정 바운더리를 다짐롤러가 품질을 고려하여 자율주행하는 무인화 기술이 개발되어 상용화를 앞두고 있다.

[그림 11] 건설산업의 자동화 발전 방향

	Phase 01	Phase 02	Phase 03	Phase 04
발전 단계	<b>정보화 시공 (Informatization)</b>	<b>반 자동화 (Semi-automation)</b>	<b>개별 장비단위 무인화 (Single-Unit Automation)</b>	<b>장비 협업 무인화 (Autonomous Fleet)</b>
발전 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>건설 정보의 디지털화 (BIM)</li> <li>Connectivity 기반 통합 관제 및 협업 플랫폼</li> <li>운전자 혹은 작업자에게 소요정보 전달 (Machine Guidance, Weighing, 안전 경보 등 정보 전달 기술)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rule 기반 알고리즘 혹은 작업계획/영역 입력에 따른 부분적 자동화 (규칙, 반복)</li> <li>원격제어, Machine Control, Active Safety 등 일부 기능의 인력 품 대체 (상력화)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개별 장비 단위 자율주행 및 자율 작업 가능 (자동화 작업계획 및 관제)</li> <li>기계로봇(Edge)단에 개별 인지/판단기능 필요</li> <li>일부 Activity에서 인력대체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>완전 자동화된 멀티 장비군의 지능형 관제기반 무인화 협업 시공 가능</li> <li>비정형, 불확실성에 능동적으로 대체</li> </ul>
핵심 기술	 <p>클라우드 관제 플랫폼 정보 커넥티비티 / 운영관리</p>	 <p>글로벌 계획 (실시간 진도관리) 반자동화 정보 어시스트 기술</p>	 <p>로컬 작업계획 (규칙/어동/품질) 동적 로컬환경 분석/판단 기술</p>	 <p>지능형 멀티-장비군 작업계획 토공환경 자율주행 기술</p>

마지막 단계로는 운전자 및 관제사 없이 진행이 될 수 있는 무인화 단계이다. 크게 두 가지로 구분할 수 있으며, 개별 장비단위 무인화와 장비 협업 무인화 단계이다. 개별 장비단위 무인화는 특정 장비가 반복적이고 독립적으로 작업하는 경우에 해당 한다. 광산 및 채석장에서 휠로더가 쌓여있는 더미를 퍼서 목표된 호퍼에 반복적으로 담는 등의 경우를 예로 들 수 있다. 장비 협업 무인화는 전형적인 건설현장과 같이 굴착기, 도저, 그레이더 및 덤프 등이 협업하여 무인화 시공하는 단계를 의미한다. 장비 협업 무인화는 장비를 통제하고, 계획을 수립하는 관제 시스템이 최소 운전자의 지능이 되도록 학습이 되어야 가능할 것이며, 이를 위해 엄청난 양의 빅데이터가 학습되어야 할 것이다.

국내에서의 대표적 건설 무인화 사례로는 현대두산인프라코어에서는 지난 2019년 11월 “Concept-X”라는 굴착기 및 휠로더를 대상으로 하는 관제시스템 기반의 완전 무인화 프로젝트를 전 세계 최초로 성공적으로 시연하였다.

[그림 12] 관제기술기반 굴착완전 무인화 프로젝트 'Concept-X' (현대두산인프라코어)



따라서 단기적으로는 전체 토공프로젝트를 무인화 하려는 욕심보다는 단순/반복적인 작업 프로세스를 가지는 공종을 대상으로 해야 한다. 무인화에 가장 어려운 기술 중 하나가 비정형적인 지형의 형상에서의 자율 주행이므로 비교적 제약이 덜한 단위 공사에 자동화/무인화 기술이 개발 및 상용화가 되어야 바람직하다.



## 05 결론

자동화/무인화 기술은 노조와의 갈등, 법과 제도의 개선, 그리고 안전의 문제가 해결되어야 할 것이다. 그러나 갈수록 심해지는 인구의 감소 및 숙련공의 부족, 재해/재난 현장에서의 안전, 국가 건설경쟁력의 확보, 나아가 극한 우주건설을 위해서라도 지속적인 투자가 필요한 부분이다.

국내의 스마트 건설기술은 현재 정부의 제도적 방침에 따라 확산되고 있으나, 갈수록 그 니즈에 따라 민간주도의 활성화가 될 것으로 판단된다. 이러한 다양한 기술들이 활성화 되기 위해서는 프로젝트 설계단계에서 스마트 기술이 반영되는 것이 가장 중요하다. 특히, 스마트 건설기술의 검증과 표준안이 마련되어 시공사도 표준에 따라 설계에 반영할 수 있어야 한다.

북유럽의 경우, 본 고에서 소개한 3D 머신가이던스 시스템을 굉장히 흔하게 볼 수 있었다. 조사 결과 전체 굴착기의 약 70%이상에 설치되었고, 현장의 측량사는 3차원 BIM 정보를 머신가이던스에 적용하는 것이 일반화 되어 있다.

건설공사의 디지털화 및 스마트화는 낙후된 생산성, 안전성 및 품질의 제고를 위하여 반드시 적용되어야 하는 과정이다. 연필로 설계하던 시절에서 2D CAD가 도입될 시기에도 많은 불만과 귀찮음의 시선이 있었지만, 현재는 일반화 되었다.

각 시공사에서는 한발 앞장서서 스마트 건설 기술에 대한 관심을 가지고 주도적으로 검증 및 설계를 수행한다면, 한 차원 높은 건설 경쟁력을 확보할 수 있을 것이라고 확신 한다.

### ※ 참고문헌

1. 한국생산성본부, 2021, "부가가치 노동생산성지수", <https://www.kpc.or.kr/Productivity/>.
2. 통계청, 2021, "산업재해현황", e-나라지표, [http://www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdx-Search.do?idx\\_cd=1514&stts\\_cd=151402&freq=Y](http://www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdx-Search.do?idx_cd=1514&stts_cd=151402&freq=Y).
3. 국토교통부, 2020, "2025년까지 스마트 건설 핵심기술 상용화 실현", 국토교통부 기술정책과 보도자료, 2020.1.17.
4. 국토교통부, 2021, "스마트건설기술 현장 적용 가이드라인".
5. 대한건설협회, 2020, "토공기술", 통권 15호, pp. 44-47.
6. Wikipedia, 2021, "초광대역 (Ultra Wideband, UWB)", <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B4%88%EA%B4%91%EB%8C%80%EC%97%AD>.

