토공지형 디지털 구현기술 및 제도화 방향

KICEM

김 석 한국건설기술연구원 건설시스템연구센터 수석연구원

Ⅰ. 서론

2000년 이후, 스마트폰, 모바일 인터넷 등의 등장과 함께 정보통신 기술(Information Communication Technology, ICT)이 급격히 발전하면서 사회 패러다임의 변화를 가져왔다. 원하는 정보를 시간과 공간의 제약을 받지 않고 취득할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경이 구축되면서 건설산업에서도 이를 활용한 다양한 자동화 관련 연구들이 수행되었다. 최근에는 인공지능(Artificial Intelligence, AI), 빅데이터, 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 등의 등장으로 건설주체 및 장비간 긴밀한 연결 뿐만 아니라 높은 효율성을 유지하는 방법에 관한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 최신기술들의 발전은 설계에서 유지보수에 이르는 건설산업 전과정에 걸친 혁신을 가져올 것으로 기대된다.

토공자동화는 2000년 이후 선진국을 중심으로 본격적으로 연구가 이루어지고 있으며, 최근 광학기술, GNSS기술, 통신기술, 제어기술 등의 발전에 힘입어 더욱 정교하게 발전하고 있는 분야이다. 토공자동화 분야는 크게 측량, 계획, 시공, 검사로 크게 나누어 볼 수 있다. 측량단계에서는 토공지형을 효과적으로 디지털로 구현하고 이후 계획, 시공, 검사에 필요한 기본 정보를 생성하는 단계이다. 계획단계는 토공지형 기본정보를 활용하여 토공을 수행하기 위한 장비조합 및 작업경로를 산정하는 등의 최적 작업계획을 수립하는 단계이다. 시공단계는 앞선 두 단계의 정보를 기반으로 현장작업이 제대로 수행되도록 통합관제할 수 있는 관리시스템과 건설장비의 제어를 담당하는 단계이다. 검사단계는 작업이 제대로 수행되는지를 검토하는 품질관리단계로서 기존의 감리업무에 해당한다.

토공자동화가 성공적으로 이루어지기 위해서는 기본정보가 되는 토공지형의 디지털 구현기술이 요구된다. 토공지형을 디지털로 구현하는 것은 물리적 형상을 정밀하게 모델링함과 동시에 향후 계획 및 시공단계에 필요한 각종 정보를 담는 작업이 포함된다. 이미 국외 선진기업을 중심으로 토공현장을 디지털로 구현하는 기술이 상당한 수준에 이르고 상용화를 하고 있지만, 국내는 아직 연구개발에 머무르고 있는 실정이다.

본 고에서는 국내외 토공현장 디지털 구현기술의 연구동향을 살펴보고, 이에 대해 발빠르게 대처하고 있는 일본의 사례를 통해 국내 토공자동화 연구의 방향을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 연구동향 조사

1. 국외 연구동향

1.1 미국의 Trimble사

Trimble사는 1978년 설립하여 주로 포지셔닝 & 네이게이션 제품을 만들었으며, 2002년 Caterpillar와 협력관계를 구축하고 토공자동화를 위한 연구를 시작하게 된다. 다양한 기업들을 인수합병하며 건설, 농업, 교통, 통신, 지도제작 등 광범위한 영역으로 사업을 확장하고 있다.

그림 1은 Trimble사에서 현장계측데이터를 관리하기 위해 개발한 'Business Center–HCE'이다. Business Center–HCE는 토탈스테이션, GNSS/GPS 데이터 등을 관리하고, 이를 최소오차로 보정하며, 측지변환 등을 이용하여 형상화하는 기능을 포함하고 있다. 또한 현장에서 계측되는 최신 지형정보를 업데이트하는 기능을 가지고 있다. 현장에서 측량된 지형정보를 형상화하고 CAD형태의 계획도면을 이용하여 시추공사, 말뚝공사, 도로공사, 토공공사 등을 위한 3차원 계획도면을 작성할 수 있다.

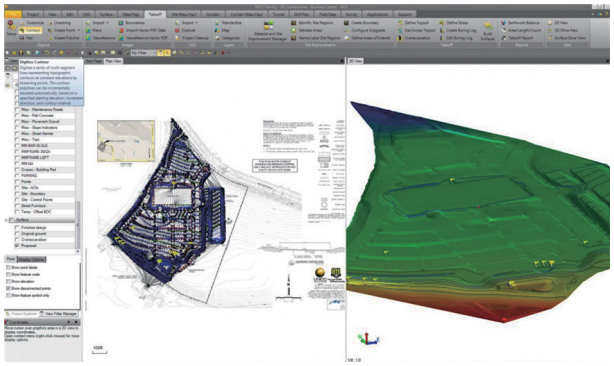

그림1. Trimble사의 Business Center–HCE 화면

그림 2는 다양한 건설장비들이 현장에서 운영되고 있는 상황을 실시간으로 보여주고 있는 VisionLink 화면이다. VisionLink에서는 Business Center–HCE에서 완성된 토공지형 정보를 이용하여 건설장비의 작업운영 시간, 연료소모량 측정, 건설장비 건전성 평가, 성토/절토구역 확인 등 토공현장 통합관제를 위한 다양한 작업을 수행할 수 있다.

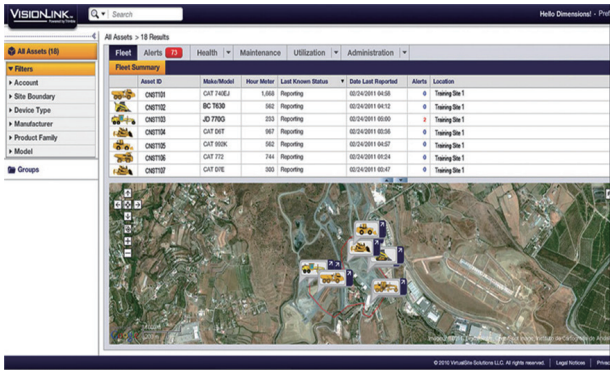

그림2. Trimble사의 VisionLink 화면

1.2 일본의 Komatsu사

Komatsu사는 세계 2위의 건설기계장비 제작업체로 다양한 건설기계장비를 제작판매하고 있다. 2013년 지능형머신컨트롤(Intelligent Machine Control) 도저의 개발을 시작으로 2015년 Smart Construction이라는 토공자동화 서비스를 내놓았다. Komatsu는 건설기계장비 제작업체의 장점을 살려, 측량, 계획, 시공, 검사까지 건설사업 전과정에 걸친 'KomConnect'라는 자동화서비스를 제공하고 있다. 토공현장 측량에 있어서, Komatsu는 Skycatch사와 협력하여 드론을 이용한 토공지형 스캔기술을 탑재하고 있다. 그림 3과 4는 Skycatch사에서 개발한 드론을 이용하여 토공현장을 스캔하는 모습과 디지털 지형을 구현한 화면이다. 드론을 이용하여 디지털화한 토공지형과 계획도면을 활용하여 공사작업 계획을 작성하고 현장의 건설기계장비에게 가이던스하는 서비스를 제공한다.

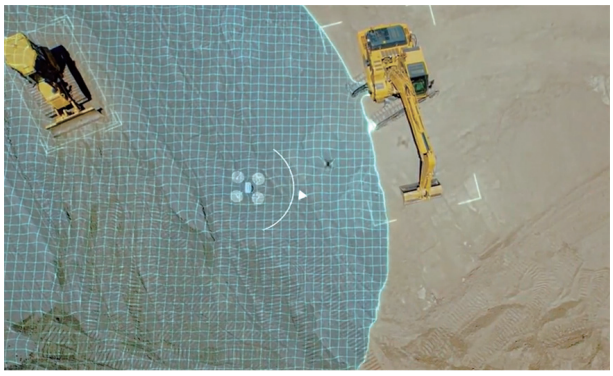

그림3. Skycatch사의 드론을 이용한 지형스캔

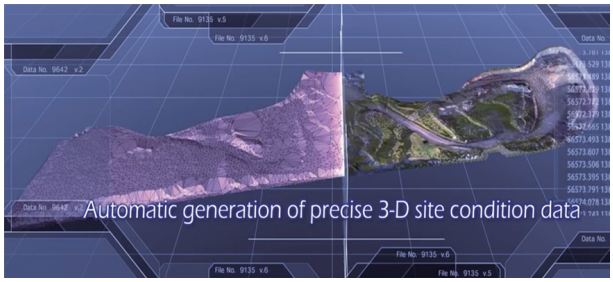

그림4. Komatsu사의 Smart Construction 컨셉화면

2. 국내 연구동향

국내에서도 2007년부터 정부지원을 받아 '지능형 굴삭시스템 개발' 연구가 시작되었으며, 2단계 사업으로 'ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발' 연구가 현재 진행되고 있다. 국내 건설기계장비 제작업체인 '두산인프라코어'와 '현대중공업'도 토공자동화와 관련된 서비스를 제공하기 위해 연구과제에 참여하거나, 자체 연구개발을 진행하고 있다.

2.1 지능형 굴삭시스템 개발연구

지능형 굴삭시스템 개발 연구에서는 토공지형을 디지털화하기 위하여, 현장에 원형타겟을 설치하고, 차량에 설치된 지상레이저스캐너(Terrestrial Laser Scanning, TLS)를 이용하여 현장을 다양한 각도에서 스캔하였다. 스캔한 데이터를 이용하여 우선 타겟 포인트를 검출하고, 타겟의 DGPS 데이터를 맵핑한 후, 3차원 스캔데이터를 정합하여 최종 현장지형을 디지털화하였다(그림 5).

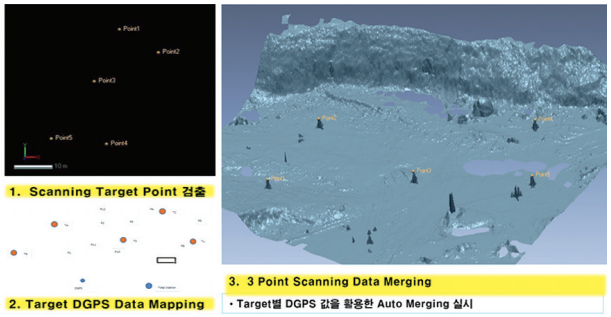

그림5. 스캐닝 데이터 병합

2.2 ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발

ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발(이하 '스마트 시공 기술개발')에서는 기존 지능형 굴삭시스템 개발연구과제에서 개발한 정합기술을 바탕으로 현장데이터 노이즈 제거, 토질속성 부여, 건설장비 운영계획을 위한 분석 Cell 생성 등의 기능이 추가적으로 개발되었다(그림 6). 스마트 시공기술 개발 연구에서 진행하고 있는 토공지형 디지털 구현기술은 토공지형이 단순히 형태만을 구현하는 것이 아니라 건설장비 통합관제를 위해 필요한 정보와 형태를 지니고 있다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다.

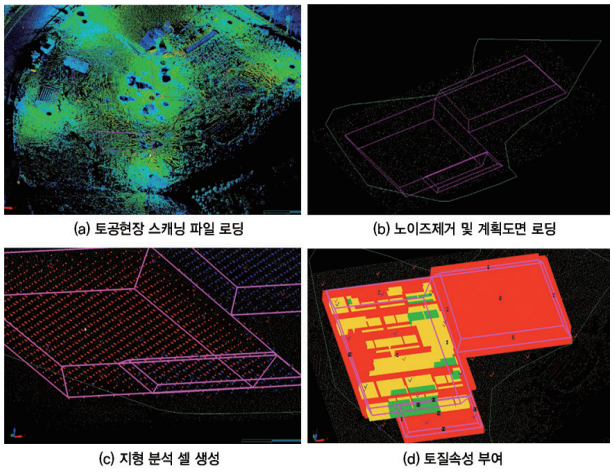

그림6. 3차원 지형지반 분석 시스템

국외 선진기업에서 개발한 기술과 달리, 국내연구에서 개발한 토공지형 구현기술은 토공장비 운영에 영향을 미치는 토공현장의 토질정보를 담고 있을 뿐만 아니라, 토공장비의 작업계획을 분석하기 위한 분석 Cell을 생성하는 기술을 가지고 있다. 이들 기술을 활용하여 향후 국내 통합관제시스템의 핵심기능인 토공장비 운영계획의 정밀성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅲ. 일본의 제도화 사례

초고령화 사회에 접어든 일본은 부족한 건설현장 노동인력 및 낮은 건설생산성을 개선하기 위해 ICT기술을 활용하여 건설산업 전반의 생산성을 향상시키기 위한 노력을 기울이고 있다. 국토교통성에서 2015년 11월에 i-Construction 계획을 발표하고 건설산업 생산성 향상을 위해 노력하고 있다. i-Construction은 '토공분야 ICT 활용', '콘크리트공 규격화', '시공시기 평준화'의 3개 축으로 구성되어 있다.

표1. 일본의 2016년 토공분야 ICT건설을 위한 새로운 기준 및 적산기준

구분	번호	명 칭	신규	개정
조사/측량/설계	1	UAV를 이용한 공공 측량 매뉴얼(안)	○	
	2	전자 납품 요령(공사 및 설계)		○
	3	3차원 설계 데이터 교환 표준(운용 가이드라인 포함)	○	
시공	4	ICT의 전면 활용에 관한 실시 방침	○	
	5	토목 공사 시공 관리 기준(안)(기성 부분 관리 기준 및 규격치)		○
	6	토목 공사 수량 산출 요령(안)	○	○
	7	토목 공사 공통 시방서 시공 관리 관련 서류	○	
	8	공중 사진 측량(무인항공기)을 이용한 기성 부분 관리 요령(토공편)(안)	○	
	9	레이저 스캐너를 이용한 기성 부분 관리 요령(토공편)(안)	○	
검사	10	지방정비국 토목 공사 검사 기술 기준(안)		○
	11	기성 부분 검사 기술 기준(안) 및 해설		○
	12	부분 지급 시의 기성고 취급 방법(안)		○
	13	공중 사진 측량(무인항공기)를 이용한 기성 부분 관리의 감독 · 요령(토공편)(안)	○	
	14	레이저 스캐너를 이용한 기성 부분 관리의 감독 · 요령(토공편)(안)	○	
	15	공사 성적 평가 요령의 운용에 대하여		○
적산	16	i-Construction형 공사(ICT토공)적산 요령(시공 패키지형 적산 방식)	○	

'토공분야 ICT 활용'분야에서는 연구를 통한 기술개발 뿐만 아니라, 제도마련을 통한 시장확대를 병행하여 진행하고 있다. 표 1은 2016년에 새로 마련된 기준을 보여주고 있다. 조사/측량/설계, 시공, 검사 등 토공 단계별 자동화건설을 위해 요구되는 기준들을 마련하고 있다. UAV, 스캐너를 활용한 측량에 대한 기준을 마련하여 관련기술들이 현장에서 활용될 수 있도록 하였다. 기준

그림7. i-Construction을 통한 건설현장의 변화

마련을 통해, 관련기술들이 기술개발에만 그치지 않고 실제 시장이 활성화되어 사업화까지 이루어질 수 있는 기반을 마련하고 있다. 또한 토공현장 디지털 구현을 기성검사 및 공사감독에도 활용할 수 있도록 기준을 마련하여 건설현장 생산성을 끌어올리고 있다. 토공분야 ICT 적용을 위한 적산기준도 함께 제시하여 현장에서 기술도입에 따른 원가산정에 어려움이 없도록 제도적으로 돕고 있다. 그림 7은 '토공분야 ICT 활용' 관련 새로운 기준 도입을 통한 일본의 건설현장의 변화를 보여주고 있다.

일본에서는 '토공분야 ICT 활용' 관련 기준정비와 함께 토공사 발주방식도 아래와 같이 규정하여 시장확대에 나서고있다.

- 예정가 3억엔 이상의 대규모 공사는 ICT토공 실시를 지정하여 발주 (발주자 지정형)
- 3억엔 미만이고 토공량 20,000㎥이상의 공사는 입찰 시에 종합 평가에서 가점부여 (시공자 희망 I 형)
- 규모와 상관 없이 수주자의 제안 · 협의에 의해 ICT토공을 실시할 수 있음 (시공자 희망 II 형 등)
- 모든 ICT 토공에서 자동화 건설기계 등의 활용에 필요한 비용을 계상(ICT 활용 공사 적산 요령을 적용)이 가능하며, 공사 성적 평가에서 가점부여

일본의 이러한 노력을 통해 토공자동화를 위한 발주가 2016년 6월 기준으로 109개가 공고진행 중이고 2016년 연말까지 410개 사업이 추가 발주될 것으로 예상된다. '토공분야 ICT 활용' 관련 기준정비 및 발주제도의 정비를 통해 토공자동화 관련 기술이 기술개발에만 머물지 않고 시장이 형성에 기여하고 있음을 확인할 수 있다.

표2 일본의 2016년 토공자동화 발주 전망

	발주자 지정형	시공자 희망형	시공자 희망II형	합계
공고 중(6/10기준)	4	21	84	109
공고 예정	약 30	약 150	약 230	약 410

Ⅳ. 결론

본 고에서는 국내외 토공지형 디지털 구현기술 동향을 살펴보고 관련된 일본의 제도화에 대해 살펴보았다. 국외 선진기업을 중심으로 토공지형 디지털 구현기술이 이미 상용화 되고 있음을 확인 할 수 있으며, 일본의 경우, 국가적으로 '토공분야 ICT 활용' 관련 기준 및 발주제도를 정비하고 토공자동화 시장

을 확대하고 있음을 알 수 있다.

국내 토공지형 디지털 구현기술 및 토공자동화 기술이 연구기관 및 기업에서 다양한 형태로 개발이 이루어지고 있다. 하지만 개발된 기술이 연구에만 머무르고 현장에 도입되지 못하고 있는 실정이다. 연구개발되는 기술이 연구로만 남지 않도록, 실제 현장에 적용 가능한 실용적인 관점에서 기술개발이 이루어져야 하며, 일본의 제도화를 참고하여 개발된 기술이 시장에도입될 수 있는 계기를 마련해야 할 것이다.

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(16SCIP-B079344-03)과 산업통상부 제조기반산업핵심기술개발사업(생산시스템)의 연구비지원(10067705)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Trimble, http://www.trimble.com, 2017

Komatsu, http://www.komatsu.com, 2017

Skycatch, https://www.skycatch.com, 2017

TopCon, https://www.topconpositioning.com, 2017

지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 한국건설교통기술평가원, 2011

권순욱, 지능형 굴삭시스템 개발을 위한 작업환경 모델링 시스템, 건설관리학회지, 제4권, 제3호, 2013

鈴木　圭一, 生産性向上に向けた i-Constructionの取組み, 2016 KICT-JICE Seminar.

■ 김 석 E-mail: kimseok@kict.re.kr