

토공측량 자동화 기술의 적용 활성화를 위한 제도개선 방안

System Improvement for Application and Diffusion of Earthwork Surveying Automation Technology

이두헌, 박재우
한국건설기술연구원 건설정책연구소

Du-Heon Lee(ldh24@kict.re.kr), Jae-Woo Park(jwpark@kict.re.kr)

요약

본 연구는 무인항공기, 레이저스캐너 등 최신의 기술을 활용하여 3차원 지형 분석 플랫폼 개발 등 토공현장을 디지털화하여 궁극적으로 토공 자동화를 이루는데 있다. 이를 위해서는 해당 요소기술 개발과 함께 국내 건설공사의 특성에 맞게 기술이 적용·활성화될 수 있도록 제도화가 요구되어진다. 본 연구의 무인항공기 및 레이저스캐너를 활용한 토공측량 자동화 기술은 시범사업을 통해 토공작업 계획, 현장관리 등의 기본 정보가 되는 지형의 좌표, 토질, 시추, 토공량, 성·절토 여부 등의 정보가 원활하게 취득될 수 있도록 하는 활용성 검토가 이루어졌다. 또한, 토공자동화에 대한 기술개발 및 활용에 있어 활발하게 적용되고 있는 일본에서의 토공자동화에 대한 기준, 매뉴얼 등 제도 개선 추진현황 및 내용을 파악하고 이를 벤치마킹하여 국내 관련 제도의 개선안을 마련하였다. 향후 금번 제시한 「토공측량 작업규정」 개선을 포함하여 건설사업 초기단계부터 시공완료 단계까지 해당 기술 적용에 요구되어지는 관련 제도 내용을 파악하여 구체적인 제도화를 추진할 계획에 있다.

■ 중심어 : 토공측량 | 스마트건설 | 건설관리 | 장비관리 | 무인항공기 | 레이저스캐너 |

Abstract

The purpose of this study is digitalization of earthwork such as development of 3D terrain analysis platform using latest technologies including unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanner to ultimately achieve earthwork automation. It is necessary to develop related element technologies and to establish regulations so that it can be applied to the domestic construction projects. As a result of pilot project about the earthwork surveying automation technology, it was confirmed that information such as terrain coordinates, soil, boring, and excavation volume is acquired smoothly. In this paper, we investigate related regulations and manuals in Japan and propose the improvement plan of domestic regulation. We plan to study regulations from early to final construction stage, combine with the 'regulation for public surveying', and improve the regulations in detail.

■ keyword : Earthwork Surveying | Smart Construction | Construction Management | Machine Control | UAV | Laser Scanner |

* 본 연구는 산업통상부 제조기반산업핵심기술개발사업(생산시스템)의 연구비지원(10067705)에 의해 수행되었습니다.

접수일자 : 2018년 05월 25일

심사완료일 : 2018년 06월 21일

수정일자 : 2018년 06월 14일

교신저자 : 박재우, e-mail : jwpark@kict.re.kr

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

토공현장을 디지털화하는 궁극적인 목적은 토공계획을 수립하고, 토공측량을 통해 토공물량을 산정하고, 토공장비를 운용하는 등의 토공작업에 대한 자동화를 실현하기 위해서다. 1990년 중반 이후부터 토공자동화를 위한 지능형 굴착 시스템(intelligent excavation system)에 대한 다양한 연구들이 수행되어왔다. 이는 정보기술 및 효율적인 장비운영을 통해 건설 품질 및 생산성을 향상시킬 수 있는 기술을 의미한다[1]. 또한, 최근 급속하게 발달된 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV) 활용기술, 레이저스캐닝(laser scanner, LS) 활용기술은 대상을 보다 쉽게 디지털화한다는 점에서 여러 산업분야에 다양한 용도로 사용되고 있다. 최근 토공측량 부분에 있어 무인항공기 및 레이저스캐너를 활용한 자동화 기술 적용에 대해 일본 국토교통성(2016)에서는 본격적으로 활용하기 위한 기준 정비가 완료되었으며, 미국 AASHTO(2013)에서는 지능형 굴착시스템에 대한 매뉴얼을 제시하고 있다[2][3]. 그러나 국내에서는 김석(2015), 권순욱(2015) 등의 연구에서 토공측량 자동화 기술에 대한 요소기술을 개발되어 토공측량 부분에 있어 최신 기술을 적용할 수 있는 기술적인 기반은 조성되었다고 할 수 있으나 아직까지 제도화 되어 있지 않아 실제 현장에서 선택적으로 적용되고 있다[4][5]. 이에 본 연구는 이러한 무인항공기와 레이저스캐닝 데이터를 활용하여 건설장비 작업계획, 현장관리 등 토공측량 부분의 자동화에 필요한 3차원 지반지형 분석 플랫폼을 개발하고 이를 현업에 적용하고 활성화하기 위한 제도개선 방안을 도출하는 데 있다.

2. 연구의 방법 및 범위

건설공사의 토공사 부문에 새로운 기술 적용을 위한 개발 현황 분석과 해당 기술들을 현업에 적용하고 활성화하기 위해 마련된 각국의 기준 등 다양한 연구와 노력들이 수행되어 왔다[1-3][6]. 이에 본 연구에서는 토공측량 자동화 기술의 적용·활성화를 위한 제도 개선 방안을 마련하기 위하여 다음의 연구방법으로 수행하

였다.

1) 먼저 본 연구를 통해서 기술 개발 추진 중인 토공측량 자동화 기술에 대한 내용과 실제 건설공사에 적용하는데 있어서 발생하는 문제점을 도출하였다.

2) 건설공사의 생산성 향상을 위해 토공측량 자동화 기술을 현업에 적용하기 위한 각국의 노력 중에서 정책적으로 강력히 추진되고 있고 활발하게 적용하고 있는 일본의 제도와 우리나라의 기준 개발 현황을 비교·분석하였다.

3) 분석한 국내의 기술적용 실태를 바탕으로 국내에 적용 활성화 하기 위해 개선되어야 하는 국내 기준들에 대한 검토를 실시하였다.

4) 본 연구진에서는 건설업계·학계·연구계의 전문가로 구성된 ICT토공자동화위원회를 운영하여 토공측량 자동화 기술적용에 대한 제도개선 방향 설정 및 제도 개선안에 대해 검토를 실시하고 최종적으로 개선안을 마련하였다.

본 연구에서는 토공측량 자동화 기술 적용을 위해 개선되어야 하는 기준 중에서 『공공측량 작업규정』을 대상으로 개선안을 제시하였다. 특히 해당 규정은 공공 건설공사의 측량업무 수행함에 있어서 가장 기본적인 적용에 대한 기준이기 때문이다. 향후, 토공측량 자동화 기술개발에 대한 적용성 및 실무활용성 검증 등 추진경과에 따라 일반측량 작업규정, 각종 시방기준, 정부투자기관의 측량기준 등을 제시할 예정이다.

II. 토공측량 자동화 기술개발 현황 및 문제점

1. 본 연구의 토공측량 자동화 기술 개발현황

본 연구에서 추진중인 무인항공기(UAV)와 레이저스캐너(LS)를 활용한 토공측량 자동화 기술은 토공현장의 지형을 3차원으로 디지털화하여 작업계획 및 현장 관리에 유용하게 활용할 수 있도록 스마트 지형 스캔 플랫폼 및 관련 운용기술 개발을 말한다. 이러한 스마트 지형 스캔 플랫폼과 이와 관련된 기술의 핵심은 글로벌맵과 로컬맵 생성 및 이를 통합한 월드맵 기술이다[14].

우선 레이저스캐너(LS)는 무인항공기(UAV)에 비교하여 상대적으로 측정범위가 제한되어 있지만, 보다 정밀한 측정이 가능하기 때문에 본 연구에서는 광범위한 전체 현장을 무인항공기(UAV)를 활용하여 글로벌 맵을 생성하고, 이후에 레이저스캐너(LS)를 이용하여 보다 정밀하게 로컬 맵을 생성하여 두가지 맵을 정합하는 월드맵을 작성하는 방식으로 진행하였다. 또한, 글로벌 맵의 절대좌표 생성을 통해 광범위한 토공측량 작업구역에 대한 맵 생성을 가능하게 하는 기술, 레이저스캐너(LS)와 토탈스테이션(total station)을 활용하여 토공현장의 3차원 스캔데이터를 절대좌표계로 취득할 수 있는 반자동 계측기술과 무인항공기(UAV) 및 레이저스캐너(LS)의 데이터를 자동으로 갱신하는 기술 등의 운용소프트웨어를 개발하였다. 토공측량 자동화 기술을 통한 3차원 디지털 맵을 작성하기 위한 절차는 아래 [그림 1]과 같다.

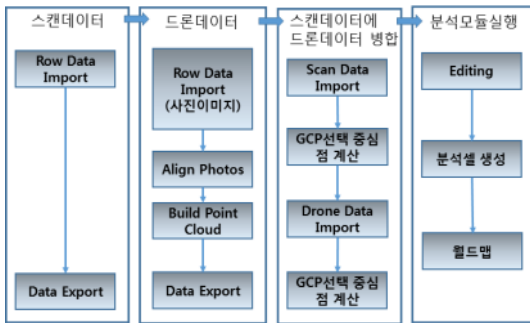


그림 1. 스마트지형 스캔 절차

1) 스캔데이터 처리

‘Raw Data Import’는 스캐너에서 취득된 원시 데이터를 후처리하기 위하여 전용 소프트웨어를 이용하여 PC로 입력하는 단계이다. 프로젝트 단위로 다수의 스캔 데이터를 입력하거나 개별 단위로 데이터를 입력받게 된다. Import에 소요되는 시간은 현장 스캔의 파라미터(사진촬영 유무, 스캔 밀도)에 따라 처리시간이 결정된다. 이후 ‘Data Export’를 통해 다음 단계에서 활용하기 위한 데이터를 추출한다.



그림 2. 스캔데이터 처리

2) 드론데이터 처리

‘Raw Data Import’는 드론(무인항공기)에서 취득된 원시 데이터(사진이미지)를 후처리하기 위하여 전용 소프트웨어를 이용하여 PC로 처리하는 단계이다.

‘Align Photos’는 사진이미지를 정합하는 과정이며 현장에서 취득된 사진이미지를 하나로 합치는 과정이다. 대상에 대한 완벽한 점군 데이터를 얻기 위해서는 이미지의 특징을 계산하여 진행(‘Build Dense Cloud’)하게 되는데 일반적인 드론데이터의 경우 보다 정밀한 지도제작을 위해서 최소한 80% 이상의 사진 중중복도와 최소한 60% 이상의 횡중복도가 요구된다.



그림 3. 드론데이터 처리

3) 스캔 및 드론데이터 병합

‘Scan Data Import’는 3차원 스캔데이터에서 추출(export)한 데이터를 개발 소프트웨어인 3D-TTP로 취득(import)하는데 이때 기준이 되는 스캔데이터는 고정데이터 형태로 취득한다. ‘Drone Data Import’는 드론으로 촬영하고 PhotoScan으로 추출(export)한 데이터를 3D-TTP로 취득(import)하는 과정이다. 이때 변환 이동하게 되는 드론데이터는 이동데이터 형태로 취득한다.

이때 드론으로 촬영된 사진을 정밀하게 정합하기 위해서 Ground Control Point(이하 GCP)라는 절대좌표를 갖는 포인트를 사용한다.



그림 4. 스캔 및 드론데이터 병합

4) 분석모델 실행

‘Editing’은 정합이 완료된 점군데이터에 대해 실제 분석이 필요한 부분을 제외하고 불필요한 부분을 제거하는 과정이다. Editing은 반드시 필요한 작업과정은 아니나 실제 분석 대상 이외의 데이터가 점군 데이터 내에 남아 있을 때 데이터의 크기가 커져 처리 속도에 영향을 미치며 체적을 측정하는 결과에도 영향을 미칠 수 있으므로 가능한 실제 대상을 제외한 나머지 점군은 editing을 통해 제거한다.

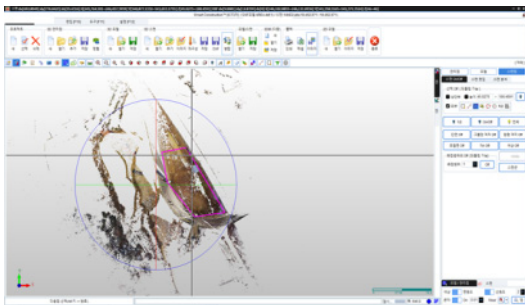


그림 5. 분석모델 실행

‘분석 Cell 생성’은 노이즈를 제거한 데이터에 토질속성[그림 6, 보링주상도 등 기본정보 입력 후 영역을 지정하고 분석 Cell 생성기능을 실행한다. 계획면 대비 절성도 유형에 따라 분석 Cell의 색상을 통해 표현되어진다. 이후 최종적으로 월드맵을 작성한다.

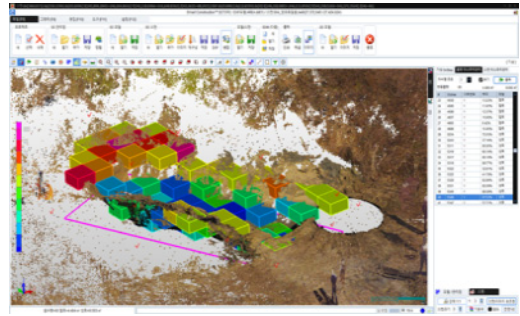


그림 6. 토질속성부여

2. 토공측량 자동화 기술의 적용상 문제점

본 연구에서 개발 추진 중인 토공측량 자동화 기술의 적용에 있어 크게 2가지의 문제점이 있다. 먼저, 개발된 최신의 기술을 현업에 실제 적용할 수 있는 관련 기준 및 제도의 부재이다. 현재 국내 토공측량 자동화 기술은 선진국과 비교해서도 그 기술력이 뒤처지지 않고 있지만, 개발된 기술의 국내 건설공사 현장 적용에 있어 관련 기준의 부재로 발주자의 소극적·방어적인 적용이 이루어지고 있다. 특히 공공건설공사에 있어 새로운 기술적용에 따른 위험을 발주자가 떠안을 수 밖에 없어 감사지적 등의 이유로 기술적용에 소극적이며, 이 때문에 공공공사 발주에 있어서도 해당 기술의 적용사례는 찾기 어려운 실정이다. 비슷한 예로 현재 공공공사의 건축부문의 경우 300억 이상의 공사의 설계는 3D BIM으로 설계·제출하라는 기준 및 제도로 인해 3D 스캐너 관련 기술이 활성화되어 있다. 이처럼 토공측량 자동화기술을 활용한 3차원 디지털도면도 일정 규모 이상의 공사에서 정밀 시공을 위해 사용될 수 있는 기준을 마련된다면 관련 기술 및 건설생산성이 향상될 것이다. 최근 제6차 건설기술진흥기본계획 수립(2018-2022년)에 따라 ‘스마트 건설자동화 기술도입’을 위한 전략 로드맵을 수립하고 있으며, 이에 따라 토공측량 자동화 기술 적용에 대한 시범사업을 실시할 계획에 있는 등 적극적 추진노력에 경주하고 있다.

또한, 해당 기술 적용에 대한 관련 시장이 협소하기 때문에 3차원 스캐너 기술을 적용할 수 있는 인력이 부족하다는 문제점이 있다. 물론 인력부족 문제는 정책·제도적으로 강제화하여 해결할 수는 없겠지만, 시장이

활성화 되면 자생적으로 관련 인력 공급이 원활이 이루어질 수 있을 것이다. 이를 위해 다양한 교육프로그램 개발이 필요하고, 사용자가 거부감없이 사용할 수 있도록 토공측량 자동화 기술에 대한 소프트웨어를 국내 시장에 맞추어 보다 쉽게 개발하는 것이 필요하다.

III. 국내외 토공측량 자동화 기술적용을 위한 정책

1. 일본의 제도 개선 현황

일본에서는 건설현장에서의 문제에 대한 해결책, 특히 토공 등의 분야의 근본적인 생산성 향상을 위해 2015.11월에 국토교통성 장관이 i-Construction을 제창하였고 2016년을 생산성 혁명의 원년으로 자리매김한 후 추진하였다. i-Construction은 단품수주생산, 현지 옥외생산, 노동집약형 생산 등 건설현장의 특성으로 인해 제조업의 셀생산방식, 자동화/로봇화 추진의 어려움을 IoT 기술을 활용하여 생산성을 향상시키는 것이다. i-Construction은 'ICT의 전면 활용' 시책을 건설현장에 도입하여 건설생산 시스템 전체의 생산성을 향상시켜 매력적인 건설 현장을 만들려는 시책이며, 지금까지 건설산업이 활용하여 온 ICT의 집대성이라 할 수 있다 [3].

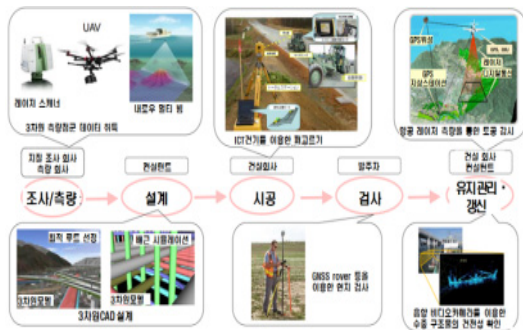


그림 7. 일본 ICT의 전면 활용(토공)의 개요[4]

위 [그림 7]에서 보듯이 토공사를 수행함에 있어서 ICT의 전면 활용에 대한 일본의 시책은 조사·측량, 설

계, 시공, 검사, 유지관리 등의 다양한 건설생산 프로세스에 ICT를 전면 도입하기 위해 3차원 데이터를 일관되게 사용할 수 있도록 15가지 새로운 기준을 정비하였다. 일본의 ICT의 전면 활용(토공)을 위해 2016년도에 도입된 새로운 기준은 아래 [표 1]과 같으며, 조사·측량 및 설계단계에서 3개 기준, 시공단계에서 6개 기준, 검사단계에서 6개 기준이 신규 또는 개정되었다. 또한, 적산기준 1개가 신규로 마련되었다[7].

표 1. 일본의 ICT 전면활용(토공)을 위해 도입된 기준[7]

구분	명칭	신규	개정
조사/측량, 설계	1 UAV를 이용한 공간 측량 준수(원)	○	
	2 전자 날개 요원(공사 및 설계)		○
	3 3차원 설계 데이터 교환 표준(운영 가이드라인 포함)	○	
시공	4 ICT의 전면 활용에 관한 실시 방침	○	
	5 토목 공사 시공 관리 기준(원)(기성 부분 관리 기준 및 규칙지)		○
	6 토목 공사 수평 선출 요원(원) (시공 위치 데이터를 이용한 보편 기성도 산출 요원(원) 포함)	○	○
	7 토목 공사 공사 시공시 시공 관리 계획 수립 [장점·기성 부분 입체 여부 포함] 포함	○	
	8 공중 사진 측량(무인항공기)을 이용한 기성 부분 관리 요원(토공관리원)	○	
	9 레이저 스캐너를 이용한 기성 부분 관리 요원(토공관리원)	○	
검사	10 지방자치단체 토목 공사 검사 기준(원)		○
	11 기성 부분 검사 기술 기준(원) 및 해설		○
	12 부분 차공 시공 기성도 취급 방법(원)		○
	13 공중 사진 측량(무인항공기)을 이용한 기성 부분 관리의 감독·검사 요원(토공관리원)	○	
	14 레이저 스캐너를 이용한 기성 부분 관리의 감독·검사 요원(토공관리원)	○	
15 공사 성적 평가 요원의 운용에 대하여		○	
◎ 적산 기준	i-Construction을 공사(ICT)로 적산 요원(시공)을 평가하는 적산 방식	○	

일본의 ICT의 전면 활용(토공)을 위해 2016년도에 도입된 새로운 기준에 대한 주요 사항을 건설단계별로 예시하면, 측량단계에서 기존의 2차원 평면으로 도출되는 측량성과를 무인항공기(UAV)를 이용하여 3차원 측량점군 데이터로 측량성과가 도출되어 3차원 측량데이터에 의한 설계·시공계획 수립이 가능케하고 시공량(절토, 성토량)을 자동산출하는 것이 가능하도록 한 것이며, 설계·시공계획 단계에서 기존의 2차원 설계도를 이용하여 시공 토량을 산출하던 것을 3차원 측량 데이터(현재 지형)와 설계도면의 차분을 이용하여 시공량을 자동 산출이 가능하도록 하였다. 시공 및 시공관리단계에서는 토목공사 시공관리 기준을 개정하여 3차원 데이터를 이용한 기성부분을 관리할 수 있도록 하였고, 검사단계에서는 토목공사 검사기술 기준을 개정하여 기존 검사 필요일수가 약 1/5로 단축(2km 공사의 경우 기존 10일→2일)되어 검사인력을 절감할 수 있었다[그림 8][8-11].



그림 8. 일본 i-Construction 내용(건설단계별)

일본에서는 2016년도에 ICT의 전면 활용(토공)을 위해 새로운 기준의 도입과 더불어 아래와 같이 ICT 토공 발주방침을 설정하였다.

- 예제가 3억엔 이상의 대규모 공사는 ICT토공 실시를 지정하여 발주(발주자 지정형)
- 3억엔 미만이고 토공량 20,000m³ 이상의 공사는 입찰 시에 종합 평가에서 가점(시공자 희망 I 형)
- 규모와 상관 없이 수주자의 제안·협의를 의해 ICT토공을 실시가능(시공자 희망II 형 등)

또한 일본내 지역 상황에 따라 다른 경우도 있으나, ICT 토공에서 ICT 건설기계 등의 활용에 필요한 비용을 계상(ICT 활용 공사 적산 요령을 적용)하고 공사 성적평가에서 가점 평가하도록 하고 있으며, 일본의 직할공사 발주에 있어서 ICT 토공발주를 아래 [표 2]와 같이 전망하고 있으며, 그 밖에 수주자가 제안하고 협의하여 ICT 토공을 실시하고 있다.

표 2. 일본의 2016년도 ICT토공 발주 전망(직할공사)
(2016. 6.10 기준)

구분	발주자 지정형	시공자 희망 I형	시공자 희망 II형	합계
공고 중	4	21	84	109
공고 예정	약 30	약 150	약 230	약 410

2. 국내 제도 개선 현황

최근 정부에서는 본 연구에서 개발 추진중인 기술 중 측량에 있어서 무인항공기(UAV)를 활용할 수 있도록

제도적 기반 구축을 추진하였다. 구체적으로는 공공의 이해나 안전과 밀접한 관련이 있는 측량인 공공측량 분야에 드론을 활용할 수 있도록 하였는데, 이는 드론을 이용한 측량성과가 공신력있는 측량결과로 인정받을 수 있는 제도적 기반이 마련된 것에 의의가 있고, 드론 측량 도입을 망설이고 있던 측량업계 전반에 드론 측량이 활성화 될 것으로 기대하고 있다.

이를 위해 정부에서는 「공공측량 작업규정」을 개정(2018. 3.30.)하여 공공측량 분야에 드론을 활용할 수 있는 근거를 확보하였고, 구체적으로 개정된 내용은 「공공측량 작업규정」 3편 지형측량에 무인비행장치측량에 대한 장(章)이 신설(제3장의2)되었고, 무인비행장치측량 근거조항이 신설(제50조의2)되었다[표 3].

표 3. UAV를 활용을 위한 「공공측량 작업규정」 개정안

현행	개정안
제3편 지형측량 제1장 ~ 제3장 (생략) (신설) (신설)	제3편 지형측량 제1장~제3장 (현행과 같음) 제3장의2 무인비행장치측량 제50조의2(무인비행장치측량) 무인비행장치를 이용한 측량은 국토지리정보원장이 고시한 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」을 적용한다.
제4장 ~ 제7장 (생략)	제4장~제7장 (현행과 같음)

위 [표 3]에서 보듯이 무인비행장치를 이용한 구체적인 측량 방법은 국토지리정보원장이 고시한 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」을 적용하도록 하고 있다. 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」에서 무인항공기(UAV)의 활용에 대한 기기별 사용절차, 방법 등은 「공공측량 작업규정」 내에 추가로 장(章)을 구성한 ‘네트워크 RTK(제6편)’와는 달리 별도로 기준을 마련하여 제시하고 있다[12].

신설된 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 공공측량분야에 무인비행장치 측량 도입을 위한 용어정의, 적용범위, 사업자·조종사 준수사항, 장비 및 성능기준 등 준비기준 명시
- 무인비행장치 측량의 작업절차, 무인항공사진 촬영방법, 사진을 이용한 측량 수행방법, 성과정리

방법 등 각 공정별(지상기준점(GCP) 측량, 무인 항공사진 촬영, 항공삼각측량(AT), 수치표면모델의 생성, 정사영상 제작, 지형지물 묘사·수치지형도 제작) 작업방법 명시

- 무인항공사진 재촬영 기준, 수치표면모델 등의 정확도 점검, 정사영상의 정확도 및 점검항목, 수치지형도 점검 방법 등과 같이 측량 정확도 확보를 위한 각 공정별 정확도 기준, 점검 방법 등 명시
- 최종 성과품에 대한 품질관리 및 정리점검 방법 명시

이처럼 본 연구에서 추진중인 토공자동화 기술부문 중 측량에 있어서 무인항공기(UAV) 활용을 위한 제도·정책적 기반은 어느 정도 구축되고 있으나, 본 연구에서 추진 중인 기술 부문인 레이저스캐너(LS)의 활용을 위해서는 제도 개선이 필요하며, 향후 측량부문의 무인항공기(UAV) 활용에 대해서도 「공공측량 작업규정」 이외에 「일반측량 작업규정」도 개선할 필요가 있다. 이는 「공공측량 작업규정」은 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제2조에 따른 국가, 지자체 등에서 시행하는 측량으로 공공의 이해, 안전과 관련이 있는 측량이며, 「공공기준점측량」, 「지형측량」, 「응용측량」, 「세계측지계 변환측량」, 「네트워크 RTK측량」 등 다양한 측량에 대한 측량장비·기기별 작업순서, 작업시 주의 사항, 측량방법 등 구체적인 공정별 작업구분, 순서 및 방법 등에 대해서 명시하고 있다. 또한, 「일반측량 작업규정」은 「설계측량」, 「시공전 측량」, 「시공중 측량」, 「준공측량」 등 건설사업 프로세스별로 측량항목(기준점 측량, 수준점 측량, 지형현황 측량, 중심선 측량, 중·횡단측량, 용지경계측량 등)에 대한 사용하는 장비·기기와 측량절차, 측량방법 및 요구되어지는 정확도(오차범위 등)에 대한 기준을 제시하고 있기 때문이다[13].

본 연구에서는 당해 연구에서 수행중인 현재까지 개발된 토공측량 자동화 기술개발에 대한 적용성 및 실무 활용성 검증 등 추진경과를 고려하여 「공공측량 작업규정」을 위주로 개선방안을 도출할 예정이며, 향후 기술의 개발 및 적용현황에 따라 일반측량 작업규정, 각종 시방기준, 정부투자기관의 측량기준 등을 제시할 예정이다.

IV. 토공측량 자동화 기술 적용 활성화 방안

1. 「공공측량 작업규정」 개선항목 검토

「공공측량 작업규정」은 제1편 총칙, 제2편 공공기준점측량, 제3편 지형측량, 제4편 응용측량, 제5편 세계측지계 변환측량, 제6편 네트워크 RTK 측량, 제7편 기타 응용측량 등 총7편으로 구성되어 있다. 본 연구를 통해서 개발되는 기술은 주로 건설공사 토공사를 수행함에 있어서 지형정보 획득을 첨단기기·장비를 활용하여 토공물량 산출 등에 활용되는 기술이다.

이에 본 연구의 개발기술에 대한 활용은 「공공측량 작업규정」에서 「제3편 지형측량」에 적용을 받고 있으며, 최근 개정된 공공측량에 있어서 무인항공기를 활용에 대한 개선부분도 해당 「제3편 지형측량」에서 이루어졌다.

표 4. 「공공측량 작업규정」의 「제3편 지형측량」 부분의 구성

(제3편 지형측량) 제36조 지형도 작성 제37조 지형도의 정확도 제38조 등고선의 종류 및 간격 제39조 지형측량 작업계획 제40조 지형측량 성과관리 제41조 지상현황측량 제42조 지상기준점 배치 제43조 작업구분 및 순서 제44조 지상기준점 측량 및 세부측량 제45조 평면측량 제46조 TS에 의한 세부측량 제47조 RTK-GNSS에 의한 세부측량	제48조 지상현황측량 편집 제49조 지도원판 제작 제50조 항공사진 측량 제50조의2 무인비행장치측량 제51조 영상지도 제작 제52조 수차표고모델 제작 제53조 일반지도 수차화 제54조 수동독취 제55조 자동독취 제56조 백도편집 제57조 지도의 축소편집 제58조 기준도 제59조 편집자료 제60조 공장별 작업구분 및 순서
--	---

「공공측량 작업규정」에서 「제3편 지형측량」 부분을 살펴보면 지형측량에 대한 측정절차, 요구되는 정확도 등에 대해서 명시하고 있고, 최근 「공공측량 작업규정」 개정(2018.3.30.)을 통해 지형측량에 활용될 수 있도록 추가된 무인항공기(UAV)를 포함하여 지형측량에 활용되는 기기, 장비 등에 대한 활용방법 등에 대한 사항이 명시되어 있다. 지형측량에 활용되는 이들 기기·장비에 대한 규정을 예시적으로 살펴보면 아래와 같다[표 5].

표 5. 지형측량에 활용되는 측정기기에 대한 「공공측량 작업규정」의 내용

(공공측량 작업규정)

제46조(TS에 의한 세부측량) ① "TS에 의한 세부측량"이란 기준점 또는 TS 측량으로 구한 점(이하 "TS점"이라고 한다)에 TS를 설치하고 지형·지물 등을 관측하여 지형도 등의 제작에 필요한 데이터를 수집하는 작업을 말한다.

② 공공기준점에서 직접 TS측량을 실시하기 곤란한 경우에는 TS 점을 설치할 수 있으며, 이 경우 TS점은 전방회법 또는 후방회법으로 설치한다.

③ TS에 의한 지형·지물에 대한 관측은 다음과 같이 한다.

1. 지형은 지성선과 표고값을 관측하고 도면편집장치를 사용하여 등고선을 묘사한다.
2. 지형·지물 관측은 다음 표를 표준으로 한다.

속척	기기 시스템 구분	수평각 관측회수	거리 관측회수	발사거리의 제한
1/500 이상	토탈스테이션 2급	0.5	1	150m 이내
	토탈스테이션 3급	0.5	1	100m 이내
1/1,000 이하	토탈스테이션 2급	0.5	1	200m 이내
	토탈스테이션 3급	0.5	1	150m 이내

3. 표고점의 밀도는 평탄지는 도상 4cm, 시가지 및 산악지는 도상 2cm에 대해서 1점을 표준으로 하고, 표고점 수치는 m 단위로 하되, 소수 둘째자리까지 표시한다.

4. 세부측량에서는 지형·지물 관측 외에 편집과 편집한 도형의 점검에 필요한 지명, 건물 명칭, 결선정보 등의 자료(이하 "관측위치 확인자료"라고 한다)를 작성한다.

제47조(RTK-GNSS에 의한 세부측량) ① "RTK-GNSS에 의한 세부측량"이란 GNSS에 의한 실시간 이동측위법으로 지상기준점 또는 지형·지물 등의 상대적 위치관계를 구하여 지형도를 작성하는 작업을 말한다.

② 세부측량(수치데이터 취득)에서 좌표치 최소단위는 원칙적으로 1mm단위로 한다.

③ RTK-GNSS 관측에 의한 지형·지물 등의 수평위치 측정은 간섭측위방식으로 실시한다.

④ RTK-GNSS 관측은 방사법으로 1세트 실시하며, 세트 내 관측 횟수 등은 다음 표를 표준으로 한다.

사용 위성수	관 측 횟 수	데이터취득간격
5개 이상	고정해를 얻고나서 5 epoch이상	1초

⑤ 초기화를 실시하는 관측점에서는 다음 방법으로 관측위 점검을 실시하고 다음의 관측점으로 이동한다.

1. 점검을 위해 1세트의 관측을 실시한다. 단, 관측은 관측위치가 명확한 말뚝을 설치한다.
2. 1세트의 관측 종료 후에 재초기화를 실시하고 2세트의 관측을 실시한다.
3. 세트 간 교차를 비교한다. 세트 간 교차의 허용범위는 다음 표를 표준으로 한다.

항 목	허용 범위
기준점(R) 세트간교차	각성분(A,X,Y,Z) 25mm 이하

4. 재초기화한 2세트의 관측값을 채택하여 관측을 계속한다.

⑥ 관측 도중 재초기화 하는 경우는 제5항과 같이 실시한다.

⑦ 지형, 지물 등의 측정밀도는 도상0.3mm 이내로 한다.

⑧ 지형·지물의 측정종료 후에 데이터 해석시스템에 데이터를 전송하여 계산기 화면상에서 편집 및 점검을 실시한다.

⑨ 지형은 지성선을 측정하여 데이터 처리 시스템으로 등고선 등의 묘사를 실시한다.

⑩ 표고점 밀도는 도상 4cm 평방에 1점을 표준으로 하여 표고점 수치는 cm단위로 표시한다.

⑪ 세부측량에서는 지형·지물 등의 측정을 실시하는 것 외에 편집 및 편집한 도형의 점검에 지명, 건물 명칭, 결선정보 등 필요한 자료(이하 "측정위치 확인자료"라 한다)를 작성한다.

위 「공공측량 작업규정」을 살펴보면, 지형측량에 활용되는 장비에 대한 용어정의, 해당 장비를 이용한 지형측량 측정횟수, 단위, 방법에 대해 명시하고 있다. 그러나, 본 연구에서 개발되는 기술항목 중에서 국내 지형측량에 활용되고 있는 레이저스캐너(LS)에 대한 활용방법에 대해서는 별도로 명시하고 있지 않다. 이로 인해 해당 기술을 측량업계 전반에 활용하는 데 있어서 저해요인으로 작용하고 있으며 기술도입·적용에 망설이고 있다. 이에 반해 일본에서는 최근(2016.3월) i-construction 추진을 위해 토공사 측량에 있어서 무인항공기(UAV)의 활용에 대한 제도 개선과 더불어 레이저스캐너(LS)를 활용할 수 있는 기준(관리요령 및 감독·검사요령)을 다음과 같이 신규로 마련하였다 [10][11].

- レーザースキャナーを用いた 出来形管理要領(土工編)(案) : 레이저 스캐너를 이용하는 기성부분 관리 요령(토공편)(안)
- レーザースキャナーを用いた 出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案) : 레이저 스캐너를 이용하는 기성부분 관리에 대한 감독 및 검사 요령(토공편)(안)

이처럼 토공측량 부문에 있어서 무인항공기(UAV)와 레이저스캐너(LS)는 개별적 사용보다는 두 측정장비를 상호보완적으로 활용하는 경우가 많고 3차원데이터 생성·관리 및 토공물량 자동산출 등 병행실시에 따른 이점이 있어 측량 자동화 기술적용에 대한 효과를 극대화시킬수 있다. 이에 무인항공기(UAV)와 더불어 레이저스캐너(LS)에 대한 토공측량에 적극 활용할 수 있는 제도개선이 시급하다.

2. 「공공측량 작업규정」 개선안

2.1 「공공측량 작업규정」 안에 조항 신설 (제1안)

본 연구에서 제시하는 토공사자동화 기술 적용을 위한 제도 개선안에 대한 제1안은 기존의 「공공측량 작업규정」에 명시되어 있는 TS, RTK-GNSS 등과 같은 측량장비·기기와 같이 별도의 기준을 만들지 않고 「공공측량 작업규정」 안에 조항을 신설하는 방안이다. 이를 위해서는 TS, RTK-GNSS 등의 측량장비·기기와 같

이 유사한 수준의 규정의 조항을 신설하는 것이며, 해당 기준에는 측량장비·기기 사용에 대한 정의, 해당 측량장비·기기를 이용한 측량횟수, 측정단위 및 방법 등을 명시하며 구체적인 개선안은 다음과 같다.

토공자동화 기술 적용을 위한 제도 개선안의 제안은 해당 개선 기준(안)을 통해서 레이저스캐너(LS)를 건설공사에 적용할 수 있는 근거를 마련한다는데 의의가 있지만, 일본의 기준과 달리 구체성이 결여되어 실제 현장에 적용하기 위해서는 별도의 자체적인 활용 매뉴얼이 필요하다는 단점이 있다.

표 6. 레이저 스캐너(LS)를 활용을 위한 「공공측량 작업규정」 개정안(제1안)

현행	개정안
제3편 지형측량 제1장 (생략) 제2장 지상현황측량	제3편 지형측량 제1장 (현행과 같음) 제2장 지상현황측량
〈신설〉	제48조(LS에 의한 세부측량) ① "LS에 의한 세부측량"이란 레이저스캐너(LS)를 이용하여 기성 부분을 계측 및 관리하거나 기성고를 산출하는 작업을 말한다. ② LS를 이용하는 기성부분을 계측할 때 이용하는 LS본체는 다음과 같은 측정정밀도와 동등하거나 또는 그 이상의 계측 성능을 지니고 있어야 하며, 정밀도를 적정하게 관리할 수 있어야 한다. 1. 측정 범위 내에서 정밀도: ±20mm 이내 2. 색상 데이터: 결과를 색상 데이터로 확인 가능할 것 ③ LS를 이용한 기성부분 계측을 다음과 같이 한다. 1. LS의 설치 : LS는 계측 대상 범위에 대하여 정면이 되도록 하여 계측 위치를 선정한다. 또한 계측 범위에 대한 LS의 입사각이 현저하게 저하되는 경우, 또는 1회의 계측으로 가시화되지 않는 범위가 있을 경우에는 해당 위치 등을 보간할 수 있는 계측 위치를 선정한다. 2. 표정점의 설치 및 계측 : LS를 이용한 계측 결과를 3차원 좌표로 변환하거나 여러 번 계측한 결과를 표정점을 이용하여 합성할 경우에는, 표정점을 설치한다. 표정점은 공사 기준점에서 TS를 이용하여 계측한다. 또한 표정점은 LS를 이용하는 완성형 계측 도중에 움직이지 않도록 고정한다. 3. LS 계측 실시 : 계측 대상 범위 내에서 100cm(10cm × 10cm 메쉬)당 1점 이상의 계측할 수 있도록 설정하여 계측한다. 또한 1회 계측 거리는 제2항에서 실시한 정밀도 확인 거리 범위 이내로 한다. ④ LS를 이용하는 기성 부분 계측 위치는

다음과 같다.

1. LS를 이용하는 기성 부분을 관리할 때에는 계측위치는 다음 그림과 같으며 비탈머리, 비탈끝에서 각각 수평방향으로 ±5cm 이내로 존재하는 계측점은 평가에서 제외해도 된다.



2. 계측 범위는 3차원설계데이터에 기술되어 있는 관리 단면의 시점부터 종점까지로 하고, 모든 범위에서 10cm 매쉬당 1점 이상의 완성형 좌표값을 취득하도록 한다.

- ⑤ 기성부분 관리 기준 및 규격값은 다음 표와 같으며, 측정값은 모두 규격값을 충족하여야 한다.

구분	측정 항목	측정 방법	무인비행장치(드론) 적용 가능	측정 기준	측정 위치
공공측량	정기	표고 표기	±50	±30	
	점진(생략)	고정 표고 표기	±50	±30	
지상현황측량	제1차	표고 표기	±50	±30	
	제2차	표고 표기	±50	±30	

주: 1. 표고값의 측정에는 지면 정밀도 "RTK"가 적용되어 있다.
2. 지반은 측량 후 관측된 데이터는 정기적으로 평가하여 오류를 확인하고, 오류 발생 시 즉시 조치를 취한다. 지반 정밀도는 1cm/100m 이하로 유지한다.
3. 무인비행장치, 비행장치 사용 범위로 ±50cm 이내로 존재하는 계측점은 표고 고차 평가가 적용된다. 비행장치 사용 범위로 ±50cm 이내로 존재하는 계측점은 수평 고차 평가가 적용된다.
4. 계측 범위는 기성부분에 연속되어 있는 최소의 단면이다. 평가 위치의 범위를 결정하는 평가 기준을 충족하여야 한다. 평가 기준은 다음과 같다.

제3장~제7장 (생략)	제3장~제7장 (현행과 같음)
--------------	------------------

2.2 「공공측량 작업규정」에 근거조항을 두고 별도의 기준 마련 (제2안)

본 연구에서 제시하는 토공자동화 기술 적용을 위한 제도 개선안의 제2안은 「공공측량 작업규정」에 근거조항을 두고 별도의 기준을 마련하는 방안이다. 최근 개정(신설)된 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」의 경우도 같은 방식으로 개정되었다. 해당 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」이 신설되기 이전의 '네트워크 RTK 측량'의 경우에는 「공공측량 작업규정」안에 별도의 장(章)으로 추가된 경우도 있으나, '네트워크 RTK 측량'도 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」과 같이 별도의 기준으로 마련하는 것이 바람직하다고 판단된다. 「공공측량 작업규정」에 근거조항을 두고 별도의 기준 마련하기 위한 개선안은 다음과 같다.

표 7. 레이저 스캐너(LS)를 활용을 위한 「공공측량 작업규정」 개정안(제2안)

현행	개정안
제3편 지형측량 제1장 (생략) 제2장 지상현황측량 (신설)	제3편 지형측량 제1장 (현행과 같음) 제2장 지상현황측량 제48조(LS에 의한 측량) 레이저 스캐너(LS)를 이용한 측량은 국토지리정보원장이 고시한 「레이저 스캐너(LS) 이용 공공측량 작업지침(안)」을 적용한다.
제3장~제7장 (생략)	제3장~제7장 (현행과 같음)

제2조 수량 산출 제3조 납품용 전자문서 작성 규정 제6절 관리 기준 및 규격값 등 제1조 기성 부분 관리 기준 및 규격값 제2조 품질관리 및 기성부분 관리사진 기준
제2장 토공 제1절 도로 토공 제1조 적용 범위 제2조 LS를 이용하는 기성부분 계측 및 위치 제3조 기성부분 관리 기준 및 규격값 제4조 품질 관리 및 기성부분 관리사진 기준
제2절 하천, 해안, 사방의 토공 제1조 적용 범위 제2조 LS를 이용하는 기성 부분 계측 및 위치 제3조 기성 부분 관리 기준 및 규격값 제4조 품질 관리 및 기성 부분 관리사진 기준

또한, 별도로 신설될 「레이저 스캐너(LS) 이용 공공측량 작업지침(안)」은 최근 신설된 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」과 일본의 「레이저 스캐너를 이용하는 기성부분 관리 요령(토공편)」 및 「레이저 스캐너를 이용하는 기성부분 관리에 대한 감독 및 검사 요령(토공편)」을 참고하여 다음과 같이 제시하였으며, 본 연구에서는 신설(안)의 전문을 수록하지 않고 개정안 내용에 대한 구성 체계만을 제시하기로 한다. 또한 토공측량에 있어서 도로공사와 하천·해안 등 토공사는 계측위치 및 그에 따른 오차범위 등이 서로 달라 공종별로 구분하여 제시하였다.

표 8. 레이저 스캐너(LS) 이용 공공측량 작업지침(안)의 내용 구성체계

제1장 총칙 제1절 총칙 제1조 목적 제2조 용어의 정의 제3조 적용범위 제4조 위치의 기준 제5조 사용장비 및 성능기준
제2절 LS를 이용한 측정 방법 제1조 기기 구성 제2조 기성부분 관리용 LS본체의 계측 성능 및 정밀도 관리 제3조 점군 처리 소프트웨어 제4조 3차원설계데이터 작성 소프트웨어 제5조 기성부분 서식 작성 소프트웨어 제6조 공사 기준점 설치
제3절 LS를 이용한 공사 측량 제1조 기공 측량 제2조 암선 계측 제3조 부분 결제용 기성고 계측
제4절 LS를 이용하는 기성 부분 관리 제1조 3차원설계데이터 작성 및 확인 제2조 LS를 이용하는 기성부분 계측 제3조 LS를 이용하는 기성부분 계측 위치
제5절 기성부분 관리 자료 작성 제1조 기성부분 관리 자료 작성

V. 결론 및 향후 과제

본 연구의 무인항공기(UAV), 레이저스캐너(LS)를 활용한 토공측량 자동화 기술은 3차원 지반지형 분석 플랫폼 개발을 통해 시범사업을 수행하여 검증하였다 [14]. 본 플랫폼을 통해 도출된 데이터베이스를 확인한 결과, 토공작업 계획, 현장관리 등의 기본 정보가 되는 지형의 좌표, 토질, 시추, 토공량, 성·질토 여부 등의 정보가 포함되어 있음을 확인하여 기술개발의 완료단계에 있다.

국내 건설투자비중에 있어 공공부문이 차지하는 비중은 2015년말 기준으로 20% 수준으로써 일본, 미국 등의 국가에 비해 공공부문에 의존도가 높은 실정이며, 대규모의 토목공사는 공공부문에 집중되어 있다. 이에 본 연구인 토공측량 자동화 기술의 적용·확산을 위해서는 해당 기술 내용에 대한 제도적 기반 구축이 필요하다. 이를 위해 본 연구진에서는 전술한 일본의 기준 뿐만 아니라 미국의 토공측량 자동화기술에 관련된 기준을 검토하였으며, 이를 벤치마킹하여 국내 실정에 맞게 「공공측량 작업규정」에 대한 개정안을 도출하였다. 도출된 「공공측량 작업규정」 개정안은 두가지 안의 형태로 제시하였다. 제1안은 「공공측량 작업규정」 안에 측량장비·기기 사용에 대한 정의, 해당 측량장비·기기를 이용한 측량횟수, 측정단위 및 방법 등에 대한 내용을 수록한 조항을 신설하는 안을 명시하였다. 제2안은 「공공측량 작업규정」에 근거조항을 두고 별도의 기준을 마련하는 안으로써 제1안의 내용 뿐만 아니라 좀 더

구체적인 매뉴얼 수준으로 제시된 안이다. 본 연구진에서는 금번 제시한 『공공측량 작업규정』 개선을 포함하여 건설사업 초기단계부터 시공완료 단계까지 해당 기술 적용에 요구되어지는 관련 제도 내용을 파악하여 구체적인 제도화를 추진할 계획에 있다. 또한, 이와 더불어 기술적으로 향후 장비의 이동방향, 장비 정지위치 등을 계획하기 위한 지반형상을 고려한 다양한 셀 타입을 설정하는 등 기술적용성 등에 관한 추가적인 기술개발에 대한 연구를 수행할 계획이다.

- [10] 国土交通省, “レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案),” 2016.
- [11] 国土交通省, “レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案),” 2016.
- [12] 국토지리정보원 고시, “공공측량 작업규정,” 2018.
- [13] 국토지리정보원 고시, “일반측량 작업규정,” 2016.
- [14] 김석, 박재우, 김경훈, “토공사 자동화를 위한 토공지형 디지털화 방안연구,” 한국콘텐츠학회 춘계종합학술대회, 2018(5).

참 고 문 헌

- [1] S. Singh, “State of the art in automation of earthmoving,” Journal of Aerospace Engineering, Vol.10, No.4, pp.179-188, 1997.
- [2] AASHTO, “Quick Reference Guide for the Implementation of Automated Machine Guidance Systems,” AASHTO Subcommittee of Construction, 2013.
- [3] 国土交通省, “ICT(土工)の全面的な活用について,” p.17, 2016.
- [4] 김석, 박재우, “3차원 스캐너의 토공현장 적용을 위한 정밀도 및 생산성 분석,” 한국콘텐츠학회논문지, 제15권, 제10호, pp.468-480, 2015.
- [5] 권순욱, 강성민, “UAV를 활용한 토공 현장용 Global Map Model 생성기술,” 한국건설관리학회 학회지, Vol.16, No.4, pp.12-17, 2015.
- [6] Du-Heon Lee, Seok Kim, Jae-Woo Park, and Soonwook Kwon, “Generation of 3D Terrain Map Using Cell Deviation Algorithm for Earthwork,” Procedia Engineering, Vol.196, pp.436-440, 2017.
- [7] 国土交通省, “ICT活用工事の實施方針,” 2016.
- [8] 国土交通省, “UAVを用いた公共測量マニュアル(案),” 2016.
- [9] 国土交通省, “UAVを用いた公共測量マニュアル(案)の概要,” 2016.

저 자 소개

이 두 현(Du-Heon Lee) **정회원**



- 1998년 2월 : 경희대학교 건축공학(공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 건축공학(박사수료)
- 1999년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야> : 건설공사 사후평가, 건설정책

박 재 우(Jae-Woo Park) **정회원**



- 2002년 2월 : 중앙대학교 토목공학(공학석사)
- 2002년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원

<관심분야> : 건설자동화, USN, 건설관리