

## 고속도로 건설현장에서 드론 활용을 위한 표준공종 개발

이석배\* · 정 민\*\* · 어수창\*\*\* · 김종전\*\*\*\*

Lee, Suk Bae\*, Jeong, Min\*\*, Auh, Su Chang\*\*\*, Kim, Jong Jeon\*\*\*\*

## Development of Standard Work Type to Utilize Drone at Expressway Construction Sites

### ABSTRACT

The role of drones is increasing day by day in smart construction that manages construction sites with 3D data in every life cycles. This is because both the digital surface model (DSM) and the orthoimage obtained for the construction site through the drone are made of point cloud data. This study aims to develop standard work types for drone use in order to systematically utilize drones in expressway construction sites. For the study, two expressway construction sites in Korea were set as test beds, and construction types applicable to drones were derived and verified through a pilot project. As a result of the study, three construction work types were developed for road planning, road design and maintenance, respectively, and in road construction, twenty-one detailed construction types were developed for five construction work types. It is expected that drones can be used more systematically not only at expressway construction sites, but also at other road construction sites by utilizing the “standard work type at expressway construction site for drone use” developed in this study.

**Key words :** Drone, Standard work type, Expressway construction site, Point cloud data, Orthoimage

### 초 록

모든 생애주기에서 건설현장을 3D 데이터로 관리하게 되는 스마트건설에 있어서 드론의 역할은 날로 증대하고 있다. 드론을 통하여 건설현장에 대하여 얻게 되는 수치표면모델과 정사영상이 모두 포인트 클라우드 데이터로 이루어지기 때문이다. 본 연구는 고속도로 건설현장에서 드론 활용을 보다 체계적으로 하기 위하여 드론 활용을 위한 표준공종을 개발하는 것이다. 연구를 위하여 우리나라 고속도로 건설현장 두 곳을 테스트베드로 설정하고 드론 촬영 시범사업을 통하여 드론 적용이 가능한 공종을 도출하고 검증하였다. 연구결과 도로계획, 도로설계 및 유지관리부분에 각각 세 개의 공종을 개발하였고, 도로시공에 있어서는 다섯개의 공종에 21개의 세부공종을 개발할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 ‘고속도로 건설현장 드론활용 표준공종’을 활용한다면 고속도로 건설현장뿐 아니라 다른 도로 건설현장에서도 드론을 활용하여 보다 체계적으로 건설현장을 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

**검색어 :** 드론, 표준공종, 고속도로 건설현장, 포인트 클라우드 데이터, 정사영상,

\* 중신회원·교신저자·경상국립대학교 건설환경공과대학 토목공학과 교수

(Corresponding Author·Gyeongsang National University, College of Construction and Environmental Engineering·sukbaelee@gnu.ac.kr)

\*\* 중신회원·(전)한국도로공사 도로교통연구원 R&D본부장 (Korea Expressway Corporation·jmin4013@ex.co.kr)

\*\*\* 정회원·경상국립대학교 건설환경공과대학 토목공학과 박사과정

(Gyeongsang National University, College of Construction and Environmental Engineering·pig9456@naver.com)

\*\*\*\* (주)공간정보 공간정보사업부 부장 (Geospatial Information Ltd.·jongjeon1986@naver.com)

Received September 24, 2020/ revised November 5, 2020/ accepted February 1, 2021

## 1. 서론

2018년 6월에 열린 제2차 국가과학기술자문회의에서 국토교통 분야의 중장기 연구개발 추진전략을 제시하는 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획을 확정하 바 있다. 이 종합계획에는 국토교통부가 추진하는 8대 혁신성장동력이 들어 있었으며 드론을 비롯한 여덟 가지 혁신성장동력이 선정되었다. 그런데 이 여덟 가지 혁신성장동력중에 드론 외에도 스마트시티, 건설자동화, 가상국토공간의 네 가지 혁신성장 동력의 유사한 점을 발견할 수 있다. 그것은 포인트 클라우드 데이터(point cloud data)에 기반한다는 것이다. 드론이 만들어내는 성과물들은 포인트 클라우드 데이터를 기반으로 만들어지게 되며, 스마트시티, 건설자동화와 가상국토공간도 포인트 클라우드 데이터를 기반한 디지털 트윈(digital twin)으로 관리될 수 있다는 공통점을 가지고 있다.

우리나라 건설현장은 세 가지 고질적인 문제점을 가지고 있으며 이를 극복하기 위한 노력들이 다각도로 전개되어 왔다. 그 문제점이란 첫째, 건설 노동인구의 고령화와 절대 부족, 둘째는 건설현장의 생산성이 다른 산업 분야에 비하여 낮다는 것이고, 셋째는 생산성이 낮음에도 불구하고 건설현장의 산업재해 수치는 매우 높다는 것이다. 국토교통부가 추진하는 8대 혁신성장동력도 이러한 건설현장의 낮은 생산성을 높여보고자 하는 의도가 있으며, 이와 별도로 건설현장의 문제점에 대한 근본적인 해결책을 찾고자 4차 산업혁명시대의 요소기술들과 어우러진 스마트 건설을 추진하고 있다. 그러나 스마트건설(smart construction)은 우리나라뿐 아니라 영국, 미국, 일본 등 선진국에서 먼저 추진하였고 가시적인 성과를 내고 있어 우리나라도 이를 가속화하기 위한 추진 정책들이 국토교통부를 중심으로 펼쳐지고 있다. 국토교통부의 스마트건설 추진정책에 따르면 ‘스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장을 선도’한다는 목표 아래 ① 건설생산성 50 % 향상, ② 건설사망 만인율을 1.66에서 1.0으로 경감, ③ 고부가가치 스타트업 500개 창업이라는 세부전략을 추진중에 있다(MOLIT, 2018).

본 연구는 우리나라 8대 혁신성장동력중의 하나이며 스마트건설로 연결될 수 있는 요소기술인 드론을 건설현장에 체계적으로 활용하기 위한 연구이다. 드론이 건설현장에 체계적으로 활용되기 위해서는 적용가능한 공종들이 도출되어야 하고, 또 도출된 공종들에 대한 표준적인 절차와 검수기준 등이 매뉴얼로 제시되어야 한다. 그러나 아직까지 우리나라의 건설현장에 드론을 어떻게 적용할 수 있는지 적용가능한 공종들에 대하여 표준화된 방법이나 공종들이 제시된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 전문시방서를 기준으로 드론적용 가능 공종을 이론적으로 도출하였으며, 실제 고속도로 건설현장에 이 공종들을 시범정용함으로써 표준화된 공종을 확정하기 위한 검증 작업을 진행하였다. 연구를 위하여

두 곳의 고속도로 건설현장을 테스트베드로 선정하고 드론 촬영 및 분석을 통하여 드론을 합리적으로 적용할 수 있는 공종들을 추출하였다. 또한 이 공종들을 나름대로의 원칙을 가지고 계열화함으로써 고속도로 건설현장에 적용가능한 드론활용 표준공종을 개발하였다. Fig. 1은 드론활용 표준공종 개발에 대한 전체 연구흐름도를 나타내고 있다.

드론 관련 연구는 초창기에는 주로 수치지도 제작(digital mapping)의 가능성 탐색 및 기존의 항공사진측량 기술과 비교할 때에 시간 및 비용의 효율성을 분석하는 논문들이 주류를 이루었다(Cho, 2014; Jung et al., 2010; Rosenell and Honkavaara, 2012). 또한 국토지리정보원에서 무인비행장치를 활용하기 위한 공종측량 작업 지침을 제시(NGII, 2018)한 이후 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 활용한 측량결과의 정확도 점검이 이루어지기도 하였다(Lee and Lee, 2018). 또 UAV 비디오를 활용하여 건설모니터링을 위한 2D 지도 제작이나(Bang et al., 2017), 토공 프로젝트를 측량하여 모바일 3D 지도제작에 적용한 연구결과(Siebert and Teizer, 2014)가 발표되었다. 드론을 활용하는 UAV photogrammetry에 의한 지도 및 도면 제작이 안정화 단계에 이르자 드론 정사영상의 입체시 가능여부가 주요 이슈로 부상하였다. 드론 정사영상은 기존의 유인 항공사진측량에 비하여 중복도가 높고 촬영경사각을 크게 가지므로 기술적 어려움이 있었고 사진의 매수가 매우 많아 효율성을 가질 수 있으나 하는 문제를 내포하고

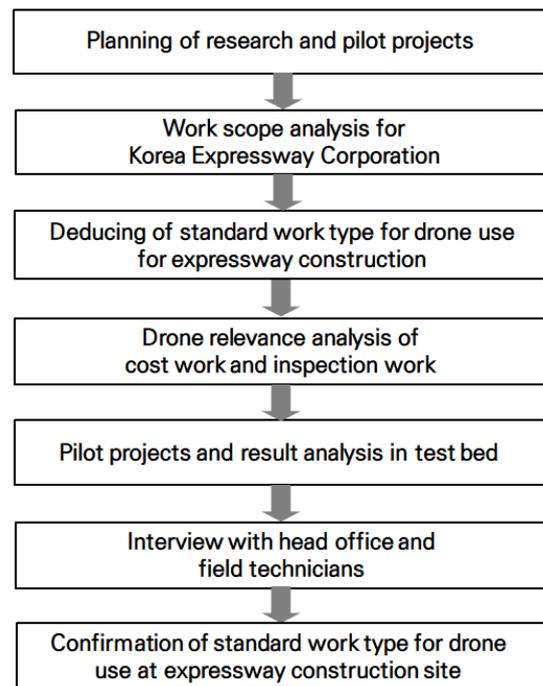


Fig. 1. Flowchart of This Study

있었기 때문이다. Kim et al.(2017)은 매우 작은 면적에 대하여 UAV 스테레오 이미지를 활용하여 3D 수치 플로팅 결과를 분석하였으며, Rhee and Kim(2017)은 UAV 이미지를 활용한 축척 1/1000의 수치지형도 제작 조사결과를 발표하였고, Lee et al.(2019)는 UAV에 의하여 취득된 영상을 입체시와 벡터화의 두 가지 방법에 의하여 수치지도를 제작하고 그 결과를 비교하여 입체시 방법의 성과가 더 좋다는 것을 밝혀낸 바 있다. 또 2018년도 이후부터는 무인비행장치 즉, 드론을 건설현장에 적용하거나 건설 관리에 응용하기 위한 연구들과 미래 비전을 제시하는 연구들이 발표되었다. Kim et al.(2018)은 UAV를 활용하여 도로 급사면의 단면추출에 대한 방안을 제시하였고, Lee et al.(2018)에 의하여 무인비행장치를 활용하기 위한 12개의 건설분야 표준공종이 제시된 바 있다. Shi and Masoud(2018)는 그동안 UAV 시스템인 UAS (Unmanned Aerial System)를 건설분야에 활용한 연구논문들을 체계적으로 정리하였으며, Boje et al.(2020)은 현재 건설분야에 활용되는 BIM (Building Information Model)의 현황을 점검하고 건설 디지털 트윈의 서비스 방향을 정립함으로써 미래에 연구가 나아갈 방향을 제시하였다.

## 2. 드론측량의 작업과정과 관련 규정

### 2.1 드론측량(UAV Photogrammetry)의 작업과정

드론측량의 작업과정은 국토지리정보원의 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침(국토지리정보원 고시 제2018-1075호, NGIL, 2018)에 규정되어 있다. 본 연구에서 두 개의 고속도로 건설현장의 드론적용 시범사업에 적용된 드론측량은 이 「무인비행장치 이용 공공측량

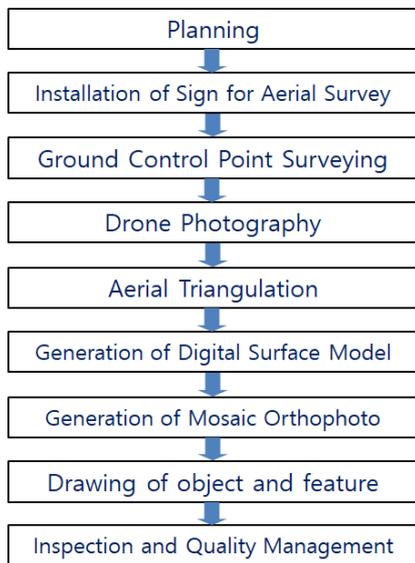


Fig. 2. Process of UAV Photogrammetry Performed in This Study

작업지침)에 달 수행되었으며 그 작업과정은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 먼저 작업계획을 수립하고, 대공표지 설치, 지상기준점 측량, 드론 촬영, 항공삼각측량, 수치표면모델(DSM)의 생성, 집성 정사영상(mosaic orthophoto)의 생성을 거쳐서 건설이 이루어지는 대상물에 대한 묘사와 검수 및 품질관리의 순으로 작업이 이루어졌다.

대공표지 설치에 있어서는 노선의 경우 1km당 10점, 검사점 4점 이상을 설치하도록 규정하고 있어 이를 준수하였으며, 지상기준점과 검사점 측량의 경우 평면기준점측량은 공공삼각측량 방법으로 수행하도록 하고 있어 GNSS 네트워크-RTK (VRS) 방법으로 평면위치를 결정하였고, 표고기준점측량의 경우 직접수준측량을 수행하도록 규정하고 있어 직접 레벨을 활용하여 수준측량을 수행하였다. 지상기준점측량에 의하여 취득한 지상기준점의 3차원 좌표를 활용하여 항공삼각측량(aerial triangulation)을 수행하였고 드론측량의 성과물을 생성하였다.

### 2.2 드론측량 성과물의 검수기준

드론측량 성과물의 품질을 결정하는 제일 중요한 요소는 항공삼각측량이다. 사진기준점측량이라고도 불리는 항공삼각측량을 통하여 외부표정요소를 산출하게 되고 표정의 과정을 통하여 성과물을 만들어내게 되기 때문이다. 또 항공삼각측량을 수행하기 위해서는 지상기준점측량의 성과가 필요하므로 지상기준점측량 역시 정밀하게 수행되어야 한다. 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」의 제2장 대공표지 설치 및 지상기준점측량에서는 지상기준점 검사점 측량 성과의 정확도를 규정하고 있으며 그 기준은 Table 1과 같다. 제4장 항공삼각측량에서는 항공삼각측량의 수행방법과 조정계산 및 오차의 한계를 규정하고 있다. 항공삼각측량의 수행방법은 광속 조정법으로 그리고 자동매칭에 의한 방법으로 수행하도록 규정하고 있으며, 항공삼각측량의 조정계산 및 오차의 한계는 Table 2에서 보는 바와 같이 축척 1/500~1/600의 경우 표준편차는 14cm, 최대값은 ±28cm로 규정하고 있다. 수치표면모델과 정사영상에 대한 성과검수 기준 또한 규정하고 있는데, 수치표면모델의 정확도는 「항공레이저측량 작업규정」의 수직위치 정확도를 준용하도록, 정사영상의 정확도는 「영상지도제작에 관한 작업규정」을 준용하도록 규정하고 있다.

Table 1. Regulation about Accuracy for Ground Control Point Surveying

Scale	Ground Sample Distance	RMSE	
		Horizontal control points	Height control points
1/500	within 0.08 m	0.14 m	±0.28 m
1/1,000	within 0.12 m	0.20 m	±0.40 m

Table 2. Regulation about the Adjustment Computation and Error for Aerial Triangulation

Scale	Standard deviation (m)	Maximum value (m)
1/500 ~ 1/600	0.14 m	±0.28 m
1/1,000 ~ 1/1200	0.20 m	±0.40 m

### 3. 고속도로 건설현장에서의 드론적용 시범사업

#### 3.1 고속도로 건설 작업규정의 드론 관련성 분석

고속도로 건설 작업규정의 드론 관련성 분석에 있어서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 먼저 한국도로공사 건설처 및 관련 부서의 업무를 분석하고, 전문시방서와 기성관리공중 및 검측업무공중의 드론 관련성을 분석하였다. 먼저, 건설처 및 관련 부서와의 협의 및 업무분석을 통하여 ‘고속도로 건설공사 드론활용 공중 도출 원칙’을 수립하였다. 그 원칙은 ‘첫째, 도로생애주기 네 단계를 기본으로 함, 둘째, 계획, 설계, 유지관리 단계는 적용공중까지 도출하고, 시공단계는 세부공중까지 도출함, 셋째, 적용공중 명칭은 「한국도로공사 공사관리규정」을 준용함, 넷째, 시공단계에 편성되는 세부공중 명칭은 「기성관리공중」과 「검측업무공중」을 준용하되 알기 쉬운 공중 이름으로 구성함.’이다.

전문시방서 분석에 있어서는 공통공사, 도로공사 등 7개 분야에 171개의 전문시방서를 분석하였으며 전문시방서에 나타난 공중의 드론 관련성에 따라 매우 높음(100), 보통(60), 낮음(30), 관련 없음(0)의 4점 척도로 구분하였다. 「기성관리공중」과 「검측업무공중」 분석에 있어서는 위의 4점 척도에 따라 드론 관련성을 분석하였다. 「검측업무공중」 분석 결과 토공(21개 공중)은 드론 관련도가 53점, 배수공(9개 공중)은 50점, 교량공(31개 공중)은 33점, 포장공(4개 공중)은 30점, 부대공(12개 공중)은 35점, 터널공(14개 공중)은 4점으로 나타났다. 토공의 경우를 더 살펴보면 땅각기와 흙각기 공중은 드론 적용 적합공중으로, 비탈면 보호공과 비탈면 보강공은 드론 적용 가능 공중으로 나타났다. 이렇게 하여 고속도로 건설현장에서 진행되는 건설공사 공중에 대하여 7개 공사분야 171개의 전문시방서 분석결과에 건설처 업무분석 및 협의 내용을 바탕으로 드론 적용 적합공중과 드론 적용 가능 공중들을 도출하였다.

#### 3.2 드론활용공중의 시범적용

3.1절에서 도출된 드론 활용 가능 공중들은 도로의 생애주기 네 단계를 기준으로 편성되었다. 그러나 도로계획 및 도로설계 그리고 유지관리 단계에 있어서는 이론적으로 각각 세 개의 공중이 도출되어 총 9개의 공중을 도출하였으며, 도로시공에 있어서는 공사관리, 공정관리, 안전관리, 품질관리 및 환경관리의 다섯 개의 공중이 도출되었다. 그리고 이 다섯 개의 도로시공 단계의 공중들을 중심으로 도로건설현장인 테스트 베드에서의 시범사업을 통하여드



Fig. 3. The UAV and RGB Sensor Used in This Study

론활용 적용성을 검증하였다. 테스트베드는 시공단계의 고속도로 건설현장(전라남도 A현장)과 준공단계의 고속도로 건설현장(경기도 B현장)을 선정하고 전라남도 A현장은 세 차례, 경기도 B현장은 두 차례에 걸쳐서 촬영을 실시하고 드론활용 시범사업을 실시하였다. 드론활용 시범사업에 사용된 무인비행장치(UAV)와 RGB 센서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 스위스 Sensefly사의 eBee와 S.O.D.A. (20 megapixel) 카메라를 사용하였다.

두 개의 고속도로 건설현장에 대하여 드론적용 시범사업을 통하여 다섯 차례의 드론 촬영을 실시하고 결과를 분석하여 미리 도출된 드론적용 공중에 대하여 검증작업을 거쳐서 드론 활용 표준공중을 확정하였다. 드론 적용 시범사업은 전라남도 A현장에 세 차례, 경기도 B현장에 두 차례의 드론 촬영을 실시하였으며 Table 2와 Table 1의 항공삼각측량 및 성과물의 검수기준에 의하여 다섯 차례의 드론 촬영 결과 및 성과물에 대한 결과분석을 정리하면 Tables 3 and 4와 같다.

Table 3에서 보는 바와 같이 A 테스트베드에서 실시한 항공삼각측량 결과는 평면에서 최소 0.002 m (First)에서 최대 0.025 m (First and Third)의 분포를 보이고 있으며, 표고에서 최소 0.001 m (First)에서 최대 0.022 m (Second)의 분포를 보이고 있다. 평균제곱근오차(RMSE)는 ±0.004 m ~ ±0.019 m의 분포를 보이고 있어 Table 2의 기준을 모두 만족시키는 것을 알 수 있다. B 테스트베드에서 실시한 항공삼각측량 결과 또한 Table 2의 기준을 모두 만족시키는 것을 알 수 있으며, 이 결과는 Lee et al.(2020)에서 인용한 결과임을 밝혀둔다. Table 4에서 보는 바와 같이 A 테스트베드에서 생성한 집성 정사영상의 평면정확도는 최소 0.004 m (First)에서 최대 0.016 m (Third)의 분포를 보이고 있으며, 표고(DEM)에서 최소 0.0004 m (Third)에서 최대 0.106 m (Third)의 분포를 보이고 있고 평균제곱근오차(RMSE)는 ±0.042 m ~ ±0.093 m의 분포를 보이고 있어 지상기준점(GCP)의 교차 통계보다 훨씬 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. A 테스트베드에서 생성한 집성 정사영상의 정확도는 Table 1의 기준을 모두 만족시키는 것을 알 수 있다. 또 B 테스트베드에서 실시한 성과물의 정확도 평가 결과 또한 Table 1의 기준을 모두 만족시키고 있으며, 이 결과는 Lee et al.(2020)에서 인용한 결과임을 밝혀둔다.

Table 3. Horizontal( $\Delta XY$ ) and Vertical( $\Delta H$ ) Accuracies for the Aerial Triangulation at GCPs (unit :m)

Division	UAV photogrammetry at A Test Bed			UAV photogrammetry at B Test Bed (Lee et al., 2020)	
	First	Second	Third	First	Second
	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$
Minimum	0.003 0.001	0.008 0.001	0.002 0.003	0.003 0.005	0.014 0.003
Maximum	0.025 0.011	0.022 0.022	0.025 0.016	0.027 0.027	0.057 0.026
Mean	0.018 0.003	0.014 0.009	0.015 0.006	0.013 0.011	0.036 0.013
RMSE	$\pm 0.019 \pm 0.004$	$\pm 0.017 \pm 0.012$	$\pm 0.017 \pm 0.007$	$\pm 0.016 \pm 0.016$	$\pm 0.049 \pm 0.014$

Table 4. Accuracies of the Mosaic Orthophoto( $\Delta XY$ ) and DEM( $\Delta H$ ) at the CPs (unit: m)

Division	UAV photogrammetry at A Test Bed			UAV photogrammetry at B Test Bed (Lee et al., 2020)	
	First	Second	Third	First	Second
	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$	$\Delta XY$ $\Delta H$
Minimum	0.004 0.026	0.023 0.012	0.012 0.0004	0.019 0.019	0.047 0.026
Maximum	0.079 0.068	0.063 0.176	0.106 0.177	0.070 0.059	0.070 0.074
Mean	0.045 0.047	0.031 0.068	0.054 0.058	0.043 0.034	0.059 0.045
RMSE	$\pm 0.053 \pm 0.050$	$\pm 0.042 \pm 0.093$	$\pm 0.064 \pm 0.091$	$\pm 0.047 \pm 0.038$	$\pm 0.060 \pm 0.049$

Fig. 4는 전라남도 A현장과 경기도 B현장에서 드론 측량을 실시하고 데이터를 처리하여 얻은 정사영상(orthoimage)과 수치표면모델(DSM: Digital Surface Model)의 일부를 보여주고 있다. 드론 촬영부터 성과물의 검수에 이르기까지 드론측량의 전체 과정은 국토지리정보원의 「공공측량 무인비행장치를 이용한 공공측량 작업지침(국토지리정보원 고시 제2018-1075호)를 준용하였다(NGII, 2018). 이렇게 만들어진 수치표면모델에서 인공지물과 자연지물을 제거하여 수치표고모델(DEM)을 작성하였으며, 이렇게 시범사업의 성과물

로 얻은 수치표고모델과 집성정사영상을 사용하여 드론적용 공종들을 하나하나 적용하여 검증작업을 실시하였다. 드론촬영 데이터의 처리는 Pix4DMapper 소프트웨어를 이용하였다.

#### 4. 드론활용 표준공종의 개발

##### 4.1 드론활용 표준공종의 검증

드론적용 시범사업은 도로건설의 생애주기중 도로시공에 대하여 도출된 공종들에 대하여 테스트베드에서 중점적으로 적용하였으며, 연구자들이 먼저 적용여부를 분석 판단하였고 담당 기술자들과의 협의를 거쳐서 드론활용 공종 여부를 확정하였다. 드론공종의 적용과 분석을 위하여 수치표면모델과 정사영상, 단사진 그리고 현장에 대한 3차원 지형모델(TIM: Topographic Information Model)을 활용하였다. 3차원 지형모델(TIM)이란 현재 지형에 대하여 포인트 클라우드 데이터로 이루어진 수치표면모델에서 인공지물과 자연지물을 제거하고 만든 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)과 정사영상을 합성하여 만든 3차원 실감 지형모델을 말한다. 이렇게 만들어진 데이터들을 활용하여 도로시공분야의 공사관리 공종에 적용된 세부공종들의 적용결과를 정리하면 Fig. 5와 같다. 공사관리의 세부공종은 Fig. 5에서 순서대로 보여주는 것과 같이 공사측량, 공사현황도 작성, 별개제근, 토공량 산출, 비탈면 시공관리, 비탈면 녹화관리, 지장물조사, 배수시설 시공관리, 기타 시공관리와 같이 9개로 구성되어 있다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 공사현장에 대하여 각각 필요한 레이어를 구성하고 레이어의 길이, 방향, 면적, 체적 계산 등을 통하여 공사진행 여부를

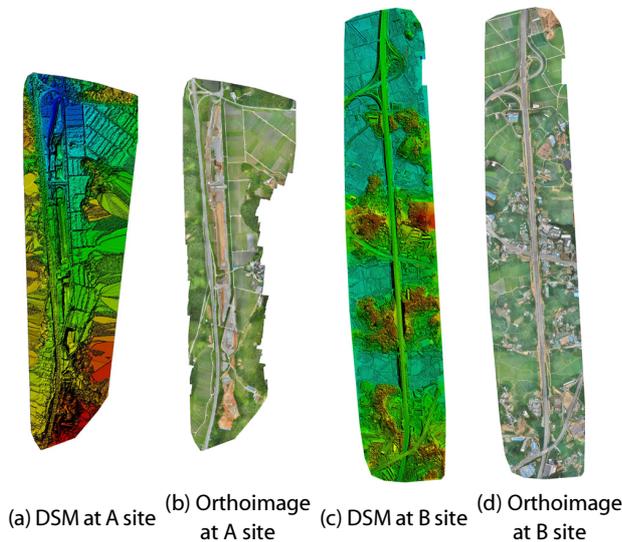


Fig. 4. DSM and orthoimage at A and B expressway construction site, respectively

파악하였다. 레이어의 구성 및 분석작업에는 Virtual Surveyor 소프트웨어를 활용하였다.

도로시공분야에 있어서는 공사관리 공종 외에도 공정관리, 안전관리, 품질관리, 환경관리의 공종에서도 많은 드론적용 가능공종을

이 도출되어 검증작업을 실시하였으며 최종적으로 12개의 세부 공종이 확정되었다. Fig. 6은 그 결과의 일부를 보여주는 것으로 공정관리, 기성관리, 비탈면 안전관리, 우기철 취약요인 발굴, 침사지 관리, 폐기물 관리 사례를 보여주고 있다.

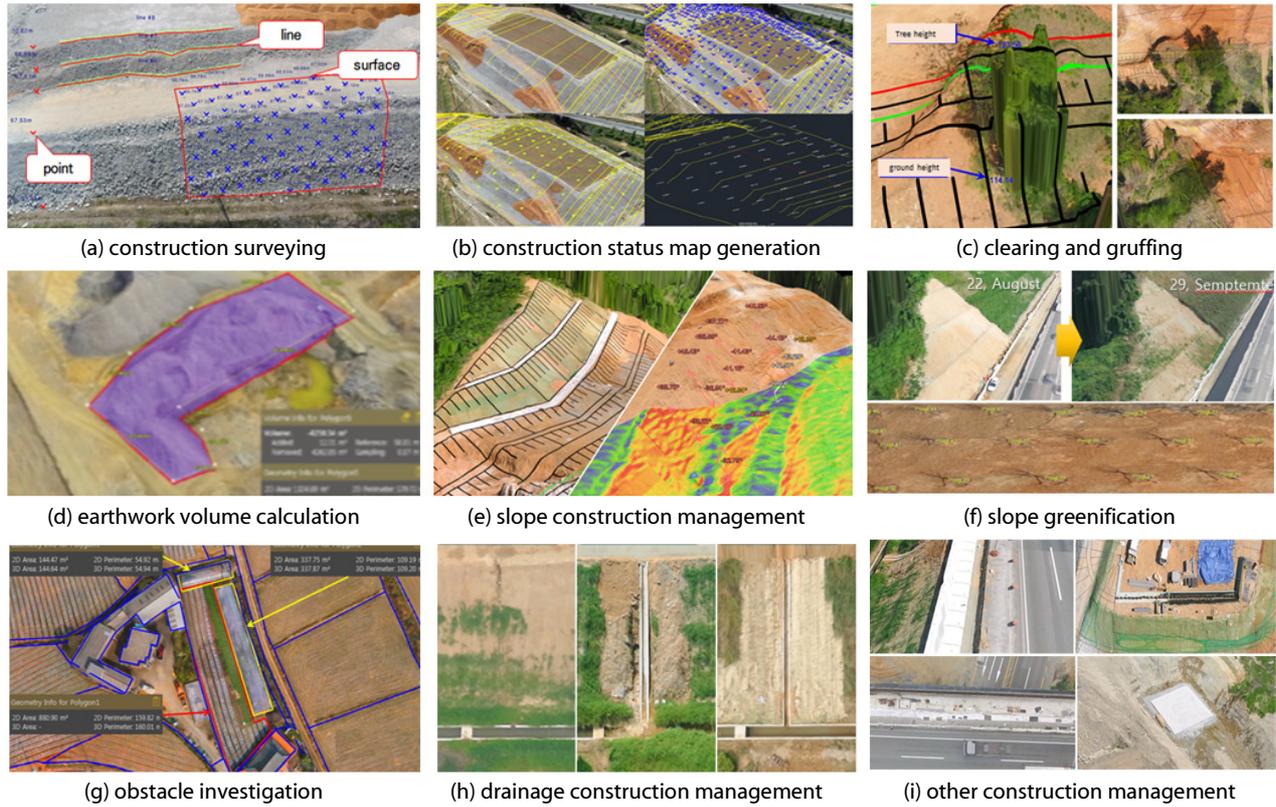


Fig. 5. Drone Application Result of Detailed Construction Management Work Type (1)



Fig. 6. Drone application Result of Detailed Construction Management Work Type (2)

#### 4.2 드론활용 표준공종의 개발

드론활용 표준공종의 개발은 3.1에서 설명한 ‘고속도로 건설공사 드론활용 공종 도출 원칙’에 따라 도로생애주기 네 단계를 기본으로 하며, 도로의 계획, 설계, 유지관리 단계는 적용공종까지 이론적으로 도출하고, 시공단계는 세부공종까지 검증작업을 거쳐서 도출한다는 원칙하에 작업이 이루어졌다. 따라서 Fig. 1의 흐름도에 따라서 연구를 수행한 결과 최종적으로 도로건설현장에서 적용가능한 드론활용 표준공종을 개발할 수 있었다. Table 5는

도로의 계획 및 설계, 유지관리단계의 공종을 도출한 결과이며, Table 6은 도로시공 분야에 있어서의 공종을 세부공종까지 개발한 결과이다. 또한 드론활용 공종의 표준화와 관리의 효율화를 위하여 각각의 공종에 코드를 부여하였다.

#### 5. 결론

본 연구는 스마트건설 시대를 대비하기 위하여 도로 건설현장에

Table 5. Standard Drone Work Type in Road Planning, Engineering and Maintenance Step

road life cycle (code)	drone work type (code)	full code
Road Planning (PL)	candidate site survey (01)	PL-01
	compensation (02)	PL-02
	other road planning (03)	PL-03
Road Engineering (EN)	drone surveying (01)	EN-01
	TIM generation (02)	EN-02
	other road design (03)	EN-03
Road Maintenance (MN)	safety diagnosis (01)	MN-01
	structure maintenance (02)	MN-02
	other maintenance (03)	MN-03

Table 6. Standard Drone Work Type in Road Construction

road life cycle (code)	drone work type (code)	detailed drone work type (code)	full code
Road Construction (CN)	construction management (01)	drone surveying (A)	CN-01A
		construction status map generation (B)	CN-01B
		clearing and gruffing (C)	CN-01C
		earthwork volume calculation (D)	CN-01D
		slope construction management(E)	CN-01E
		slope greenification (F)	CN-01F
		obstacle investigation (G)	CN-01G
		drainage construction management (H)	CN-01H
		other construction management (I)	CN-01I
	process management (02)	process management (A)	CN-02A
		completed amount management (B)	CN-02B
	safety management (03)	safety management in the slopes (A)	CN-03A
		weakness identification during the rainy season (B)	CN-03B
		analysis of winter season impact (C)	CN-03C
		other safety management (D)	CN-03D
	quality management (04)	Inspection of facilities with difficulty in access (A)	CN-04A
		Structure crack investigation (B)	CN-04B
		other quality management (C)	CN-04C
	environmental management (05)	grit chamber management (A)	CN-05A
		waste management (B)	CN-05B
		other environmental management (C)	CN-05C

서 드론활용을 위한 표준공중을 개발하기 위한 연구로 두 개의 고속도로 건설현장에 테스트베드를 구축하고 드론측량을 통한 시범적용을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 두 개의 테스트베드에서 다섯 번의 드론 측량(UAV photogrammetry)을 실시하였으며 데이터 처리과정과 성과물을 검수한 결과 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」의 검수기준을 모두 만족할 수 있었다.

둘째, 도로의 계획, 설계 및 유지관리 단계에서 후보지 조사 등 9개의 드론 활용 표준공중을 개발하였으며, 도로의 시공단계에서는 공사관리, 공정관리, 안전관리, 품질관리, 환경관리의 다섯 개의 공중에 걸쳐서 21개의 세부 공중을 개발할 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 개발된 드론활용 표준공중을 향후 도로건설 현장에서 적용한다면 드론 적용의 효율성을 가져올 수 있으리라 판단된다. 그러나 본 연구의 목적이 드론을 활용한 효율성 분석이 아니었으므로 이 부분에 대한 연구는 향후 과제로 남겨두고자 한다.

스마트건설은 현재의 시공기술에 ICT기술과 자동화기술을 접목시켜 보다 효율적이면서 보다 빠르고, 보다 안전하게 시공되는 기술을 말한다. 스마트건설에 있어서는 건설의 생애주기 단계인 계획, 설계, 시공 및 유지관리의 전 단계에서 3차원 데이터로 관리하기 위한 디지털 트윈의 중요성이 늘어나게 될 것이다. 따라서 3차원 디지털 트윈을 만드는데 있어서 가장 효율적인 수단으로 각광받고 있는 무인비행장치, 즉 드론을 도로 건설에 있어서 본 연구에서 개발된 30개의 공중을 활용한다면, 생산성을 높이고 현장 작업자들의 안전을 담보하면서 스마트건설을 앞당기는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 2019~2020년도 연구용역사업 「건설현장 표준공중에 드론활용을 위한 방안수립 및 시범운영 연구」에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

본 논문은 2020 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

## References

Bang, S. D., Kim, H. J. and Kim, H. K. (2017). "Vision-based 2D map generation for monitoring construction sites using UAV Videos." *Proceedings 2017 ISARC, 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, ISARC, pp. 1-4.

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S. and Rezgui, Y. (2020). "Towards a semantic construction digital twin: directions for future research." *Automation in Construction*, Vol. 114, 103179.

Cho, J. H. (2014). *Accuracy and economic feasibility study of orthoimage map production using UAV*, Master Thesis, University

of Seoul, Korea (in Korean).

Jung, S. H., Lim, H. M. and Lee, J. K. (2010). "Acquisition of 3D spatial information using UAV photogrammetric method." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 161-168 (in Korean).

Kim, D. I., Kang, D. W. and Lee, H. (2017). "Analysis of 3D-digital plotting using unmanned aircraft vehicle (UAV) stereo images." *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, KSGIS, pp. 73-75 (in Korean).

Kim, T. W., Hong, S. H., Choi, H. and Lee, K. H. (2018). "Efficient extraction of road cross section using a UAV." *Journal of the Korean Society of Geospatial Information Science*, KSGIS, Vol. 26, No. 1, pp. 69-75 (in Korean).

Lee, J. O. and Lee, S. B. (2018). "Quality evaluation method for surveying result with UAVs." *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, KSGIS, pp. 265-266 (in Korean).

Lee, J. O., Lee, S. B., Kim, S. G. and Lee, K. H. (2018). "Development of standard work type in construction field to utilize unmanned aerial vehicle." *Journal of the Korean Society of Geospatial Information Science*, KSGIS, Vol. 26, No. 3, pp. 69-76 (in Korean).

Lee, S. B., Kim, T., Ahn, Y. J. and Lee, J. O. (2019). "Comparison of digital maps created by stereo plotting and vectorization based on images acquired by unmanned aerial vehicle." *Sensors and Materials*, Vol. 31, No. 11, pp. 3797-3810.

Lee, S. B., Song, M. H., Kim, S. G. and Won, J. H. (2020). "Change monitoring at expressway infrastructure construction sites using drone." *Sensors and Materials*, Special Issue on Geomatics Technologies for the Realization of Smart Cities, Vol. 32, No. 11, pp. 3923-3933.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2018). *For innovation in construction productivity and enhancing safety smart construction technology roadmap* (in Korean).

National Geographic Information Institute (NGII) (2018). *Guidelines for the public survey using UAV*, NGII Guidelines, No. 2018-1075 (in Korean).

Rhee, S. and Kim, T. (2017). "Investigation of 1:1,000 scale map generation by stereo plotting using UAV images." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, 2016 ISPRS International Conference on UAV in Geomatics, Bonn, Germany, Volume XLII-2/W6, pp. 319-324.

Rosenell, T. and Honkavaara, E. (2012). "point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera." *Sensors*, Vol. 12, No. 1, pp. 453-480.

Shi, Z. and Masoud, G. (2018). "Unmanned aerial system applications in construction: A systematic review." *Construction Innovation*, Vol. 18, No. 4, pp. 453-468.

Siebert, S. and Teizer, J. (2014). "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system." *Automation in Construction*, Vol. 41, pp. 1-14.