

## 드론을 이용한 실시간 지하시설물도 작성\*

노홍석<sup>1</sup> · 백태경<sup>1\*</sup>

## Real-time Underground Facility Map Production Using Drones\*

Hong-Suk NO<sup>1</sup> · Tae-Kyung BAEK<sup>1\*</sup>

### 요 약

본 연구는 1998년부터 2010년까지 84개 시군에 대한 지하시설물 전산화가 완료되고 2011년부터 신규로 배관공사가 이루어지거나 기존관로 유지보수 갱신 배관공사에 대하여 2010년 개정된 국토지리정보원 고시 공공측량작업규정 제134호의 지하시설물도 작성시기에서 정확도 확보를 위하여 되메우기 전 노출관로에 대한 위치 및 심도측량으로 지하시설물도를 작성하게 되어있다. 실시간으로 작성하게 되어 있는 지하시설물도의 작성기법에 대하여 기존 방식과 대비 더욱 효율적이면서 부가가치가 높은 방식으로써 예산절감효과를 도출하여 현업에 적용 할 수 있는 응용기술을 모색하는데 그 목적이 있다. 최적화 된 드론영상자료를 기본으로 지상기준점 배치가 최대한 균등하게 분포 되도록 이미지 프로세싱을 수행하여 오차범위에서 벗어난 지상기준점을 소거하고 재프로세싱 하여 양질의 성과를 도출함으로써 드론방식의 지하시설물도를 작성, 허용오차 범위 내에서 수용되는 검증결과를 수립하고, 프로세싱방법의 표준화가 될 수 있는 새로운 작업방법을 제시하고자 한다.

주요어 : 무인항공기, 지하시설물도, 드론사진측량, 수치 표고 모형

### ABSTRACT

Between 1998 and 2010, the computerization of underground facilities was completed in 84 cities. Since 2011, new pipelines have been laid or existing pipelines have been maintained, renovated, and renewed. To measure the exact location and depth of the exposure pipe, a map of underground facilities was created before filling the ground. This method is based on the time when the underground facilities of the National Geographic Information Institute Regulation No. 134 of the National Geographic Information Office revised in 2010 were drafted. The process of the drone taking the video is based on a theoretical basis of ground control points. The method works by removing all ground control points located outside of the error range and re-processing it for calculating the

2017년 9월 18일 접수 Received on September 18, 2017 / 2017년 10월 27일 수정 Revised on October 27, 2017 / 2017년 11월 8일 심사완료 Accepted on November 8, 2017

\* 이 논문은 2016년 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합 핵심인재 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2016-001).  
1 동의대학교 공간정보시스템학과 Dept. of Geoinformatics, Dong-Eui University

\* Corresponding Author E-mail : tkbaek@deu.ac.kr

best result. Furthermore, using a drone-based spontaneous measuring method allows workers to obtain a high accuracy underground facilities map in error bound. The proposed method could be used as a new way to standardize the processing.

**KEYWORDS :** *Unmanned Aerial Vehicle, Underground Facility Map, Dron Photographic Survey, Digital Elevation Model*

## 서 론

지하공간정보 데이터베이스 구축은 지하시설물을 체계적으로 정비하여 과학적이고 정확한 자료의 구축이 생명이다. 또한 지하시설물을 관리하고 굴착을 수반한 각종 공사에서 설계 및 정밀, 안전 시공이 가능하도록 정확한 정보 제공이 최우선 되어야 한다. 이에 법 개정 이전에는 지하시설물 특히 상수도공사 부문에서는 노후 상수도 개량공사 및 신설배관공사시 터파기 후 뒤 메우기를 하고 나서 지하시설물탐사기 등 각종탐사장비를 동원하여 심도를 측정하였다. 비금속인 경우에는 불탐으로 처리하여 관리할 수밖에 없는 실정이었다. 공간정보 구축 및 관리 등에 관한 법률 제17조 및 같은 법 시행규칙 제21조에 따라 공공측량 작업계획서 작성 기준 등 그 밖에 공공측량에 필요한 사항을 정하여 규격을 통일하고 공공측량성과의 정확도를 확보하기 위한 공공측량작업규정 제134조에서 지하시설물도 작성 시기를 살펴보면 시설물 관리기관은 시설물의 설치, 변경할 때에는 공사가 완료되기 전 시설물이 노출된 상태에서 측량을 하여 시설물도를 작성하여야 한다고 되어 있다. 본 연구에서는 정확도 확보를 위하여 배관공사와 동시에 실시간으로 이루어지는 현행 작업방법에 대하여 드론을 이용한 영상자료를 기반으로 드론사진측량 더 나아가 DEM/ DSM 및 정사영상 자료를 취득하여 지하시설물도의 심도 및 평면위치 측정으로 100% 심도를 확보는 물론 기존 시행하던 방식 대비 실행비 절감 효과로 이어져 국가예산절감 등 크게 두 가지를 확보하는데 그 목적이 있다.

최근 국내외를 막론하고 드론에 관한 관심증

대와 더불어 드론의 활성화 길로 나아가기 위해서 드론의 기능을 극대화하고, 가격 하락과 기술 발전 덕분에 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 3차원 공간정보에 대한 포괄적이고 광범위한 공간정보구축에 대한 연구가 대부분이며 즉 구체적인 대상 즉 지하시설물도 공간정보에 대한 연구는 미비한 상태이다. Kim(2016)은 무인비행장치를 활용한 공간정보 취득을 직접 수행함으로써 취득 및 후처리 과정의 프로세스를 정립하고 수행과정에서 도출되는 정사영상과 3D 모델을 기반으로 다양한 공간정보 Data를 산출하여 활용 가능성을 입증하였다. Jo(2014)는 국내정사영상제작은 현대의 디지털 방식으로 기술의 고도화가 이루어지면서 각종 영상 데이터 제작이 되고 있지만 날씨의 제약과 소규모 지역일 경우 고비용으로 인하여 신속제작의 어려움이 있다. UAV를 이용하여 취득되는 데이터에 대한 정확도를 평가하고 정사영상제작에 대한 경제적인 면적을 도출하였다. Jo(2015)은 무인항공기 사진 측량기법을 이용하여 토목시공현장의 3차원공간정보를 취득하고 토목시공현장 관리 및 신속 정확한 의사결정을 위한 시공현장 3차원 관리시스템을 개발하여 공간정보를 활용하여 현장관리시스템에 접목, 현장을 모니터링할 수 있는 활용 가능성을 제시하였다. Kim(2014)는 UAV 적용사례를 통한 오차 특성 파악 및 정확도 연구를 위하여 도심 및 주거지역 대형건축물, 대형공장지역, 문화유적지역에 대한 무인비행 영상자료를 수집하여 실험하고 사례들에서 발견한 다양한 오차에 대한 원인을 분석하여 해결점에 대한 연구를 실시, 공간정보에 대한 활용 가능성을 제시하였다. Chun(2017)은 드론 디지털 영상을 활용하여 지형변화를 분석하기 위한 정사영상과 DEM을 생성하여, 변화지

역에 대해 신속하게 정보를 추출하고 수정 및 갱신함으로써 드론에 대한 활용성을 제시하였다. Kim(2016)은 유인기에 의한 3D 맵핑 시스템의 활용은 최근 산업에 적용되어 그 기반이 3D 맵핑 영상 취득의 최신형 확보로 이어지고 있으나 드론이 상용화됨에 따라 효율적이고 비용측면에서 많은 이점을 갖고 있는 드론을 3D 맵핑 시스템에 적용, 활용을 위하여 단시간 내에 데이터를 처리하여 다양한 산업에 적용, 활용 가능성 제시하였다. 선행 연구내용과 기존 실시간 지하시설물도 작성 방식의 분석을 통하여 공간정보 취득의 용이성을 충분히 인지하고 특히 소규모 지역의 실시간 공간정보 취득에 크게 두각을 나타내고 있는 드론 활용에 대하여 실제 시험지역을 선정, 실시간 지하시설물도 공간정보 취득의 활용 가능성을 기존 방식 대비 드론 활용 지하시설물도 작성방식을 연구하여 현재 국가 및 지자체 발주 지하시설물도 작성 공공측량 작업의 활용 가능성을 입증하고자 한다. 기존 실시간 지하시설물도 작성방식 내용은 그림 1과 같다.

### 1. 도시기준점 설치

첫째, 공공기준점(도시기준점) 및 국가기준점 그리고 기존 도시기준점(4급) 설치 현황을 사전 조사 분석하여 중복설치 되지 않도록 기존 기준점을 최대한 활용한다.

둘째, 지하시설물의 효율적 관리 및 유지보수와 자료 활용도를 높이기 위해 발주처에서 설치한 도시기준점(2급)과 연계된 4급 공공기준점을 설치하므로 그 위치는 망실 훼손의 우려가 없는 지역에 설치한다.

셋째, 사업지역에서 도시기준점을 확인하여 사전조사를 하고 배점밀도 및 기준점 망도의 상태를 고려하여 최소한 다른 도시기준점 1점 이상과 시통이 가능하도록 선점하여야 한다.

### 2. 위치측량

첫째, 신규로 매설되는 시설물의 위치는 시설물 허가 완료 된 후 굴착된 땅을 그림 2의 되메우기 전에 스태프 및 스틸자 등을 이용해서 기준위치(c)를 중심으로 매설관로의 이격거리(a)

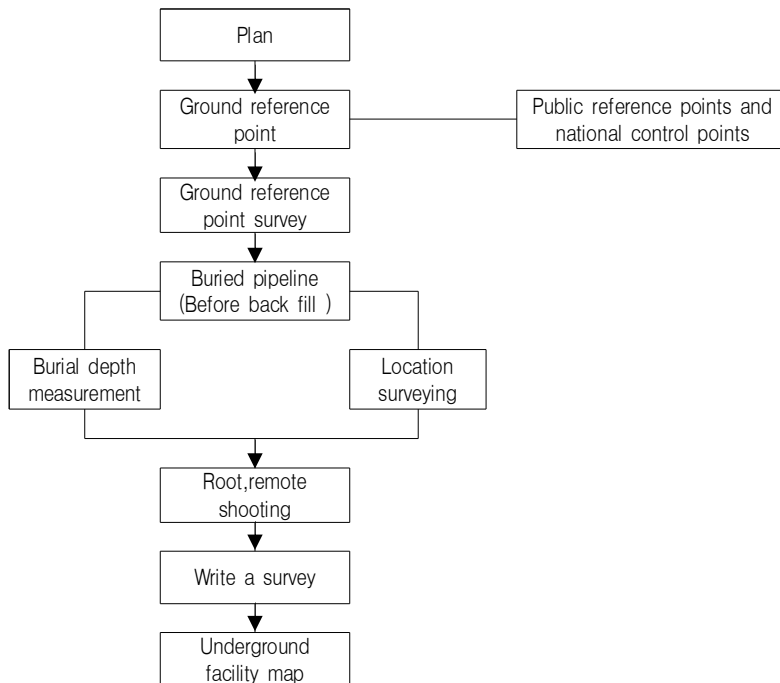


FIGURE1. Current working flow chart

및 깊이(b)를 실측한다.

둘째, 그림 3의 지거측량 기준점( 'P' )에서 T/S 또는 GPS 측량기기 등을 이용하여 측점(C.0, C.1, ....., C.n)를 절대측량하여 측점별 좌표((X0, Y0, Z0) ~ (Xn, Yn, Zn))를 취득한다.

셋째, 지형, 지물을 기준으로 시설물을 측량할 경우 반드시 측량의 기준이 되는 지형, 지물에서 이격거리(인도 경계석이 도로와 접한 면으로부터 수직이격거리를 말한다)에 의하여 측량할 수 있다.

넷째, 기준점을 이용한 시설물 측량은 측량기준점을 이용하여 일정거리 또는 도엽별로 기준점 표지(X, Y, Z)를 설치한다.

다섯째, 기준점 표지는 표준규격 및 매설방법에 따라 설치하고 기준점표지를 기준으로 시설

물의 주요 관로 및 맨홀 등의 위치를 측량한다.

여섯째, 도로 재포장 등에 따라 시설물의 심도가 변할 경우 이를 수정하여야 한다.

### 실험 및 결과분석

실험지역에 대한 전체적인 과업흐름도는 그림 4와 같다. 드론을 이용한 촬영도 기존 유인기에 의한 촬영과 마찬가지로 우선 지상에서 촬영계획을 수립하게 되며 이때 촬영지역, 투입 카메라 모델의 초점거리, 촬영고도, 중복도, 비행노선 간격, 비행노선수, 셔터속도 및 GSD 등을 설정 및 정리화 한다. 특히 바람의 풍속에 따른 촬영절차수립, 촬영 실시간 모니터링, 촬영영상에 대한 후처리 작업을 수행하게 되는데 우선 드론 카메라에 대한

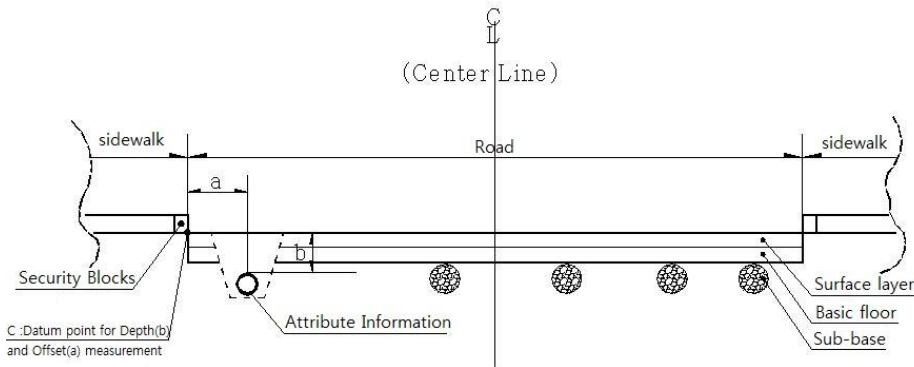


FIGURE 2. Cross section – measured before back-up during construction

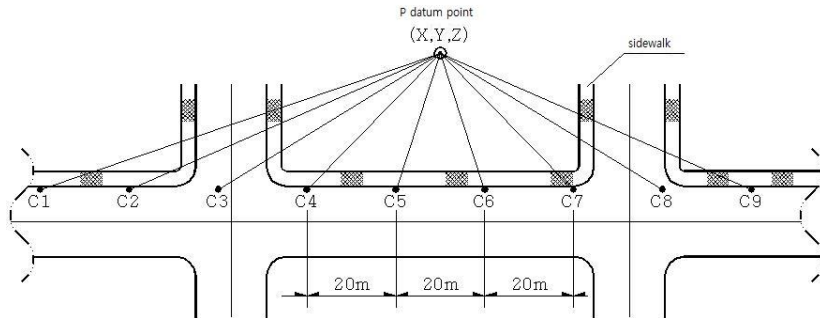


FIGURE 3. Floor plan – absolute coordinate measurement of C point using P point

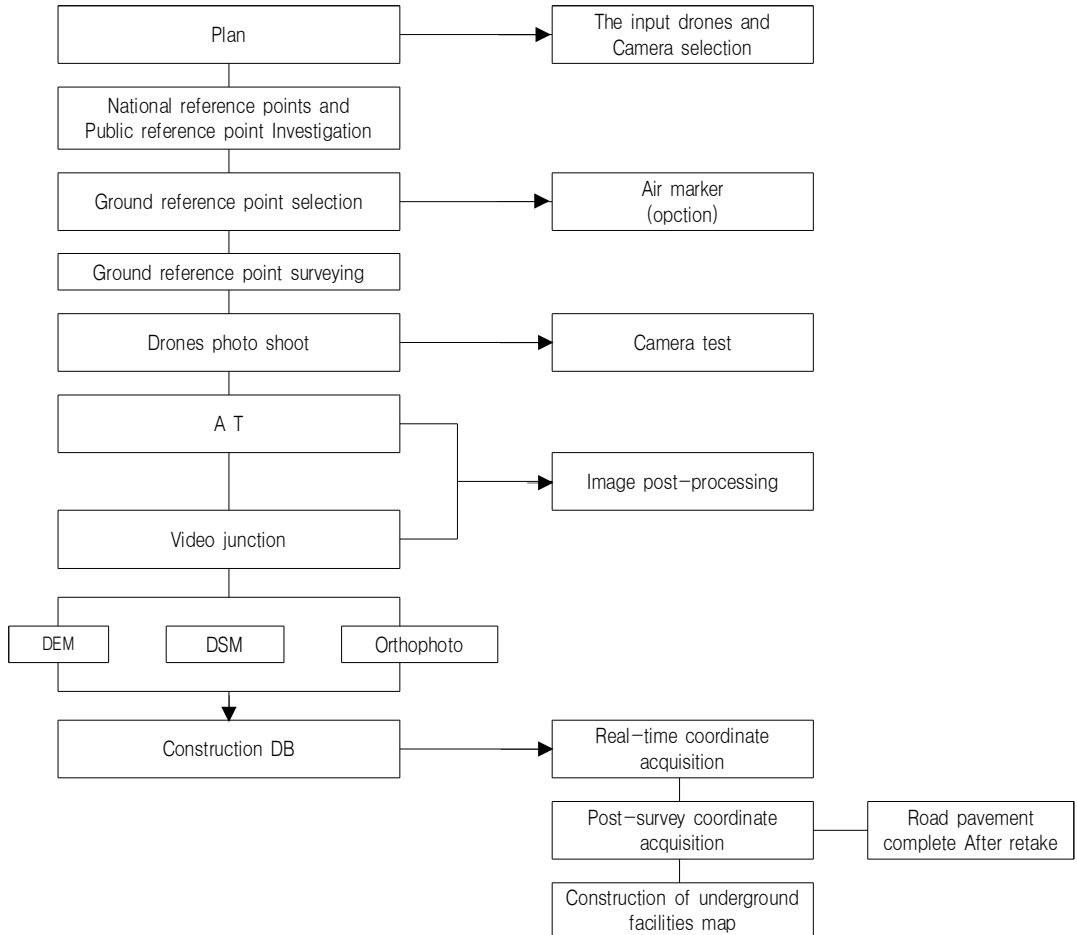


FIGURE4. Drone using working flow chart

왜곡량 보정을 수행하고 카메라 내부 포징요소에 대한 정확한 데이터를 확보해서 후속 영상처리 작업의 정확도를 확보하여야 한다(Lim, 2010). 드론으로 획득한 영상, 카메라 검정자료, GPS/INS 자료, 지상기준점 등을 이용하여 항공삼각측량을 수행한다. 이 작업을 수행하면 카메라의 외부결정요소값( $x, y, z, \omega, \phi, \kappa$ )이 추출되고 이 값은 영상접합, 정사영상 제작을 위한 입력값으로 사용되며, 영상접합은 항공삼각측량의 사진기준점을 자동 추출 할 때도 사용되지만 가장 많이 사용되는 것은 수치표고모형제작에 사용된다(Ju, 2011). 카메라 캘리브레이션, 드론영상 AT 성과, 수치표고모형 자료를 이용하여 정사영상 제작이 가능하다.

1. 연구대상지

연구대상지는 그림 5와 같이 명지 경제자유구역 도시가스배관 공사 지역을 선정하였으며, 대상지의 개략적인 개요는 표 1과 같다.



FIGURE 5. Area subject to study

TABLE 1. Overview of research objects site

Position	Myeongji-dong, Gangseo-gu, Busan, Korea
Site	4,476,271m <sup>2</sup> (1.35 million pyeong)
Period of business	2003.10.30~2017.12.31
Location condition	National highway line2, Metropolitan road line31 and Myeongji Bridge, Kimhae airport, Namhae Expressway
Natural environment	Not more than 5 m altitude and 95 % The cultural assets protection area around Nakdong River, natural ecosystem conservation area, natural environment conservation area
Drone shot obstructive factor	Can fly drone to an area more than 9.3km from Kimhae airport
No-fly zone	The distance from the airfield to the work position 9.2km
Developer	Busan City Gas

## 2. 촬영계획수립

촬영지역에 대한 포털사이트 다음이나 네이버 지도를 다운로드하여 해당 지역에 대한 배경지도를 선정하고 배관 설치 예정지에 대한 본격적인 촬영 영역을 확정한다(Pyen, 2015). 촬영영상의

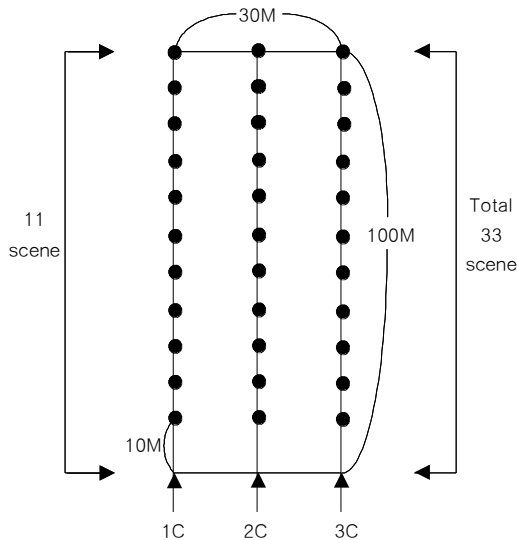


FIGURE 6. Drone flight plan diagram

지상표본거리를 결정하고 촬영고도를 설계한다. 아래 기본 제원에 따라 그림 6과 같이 비행노선간격, 비행노선수, 촬영고도를 결정한다(DJI, 2016).

## 3. 기본제원

표 2의 설계제원에 따라 투입 드론은 DJI사 PAHNTOM4를 투입하였으며 카메라 모델은 FC330으로 초점거리는 3.6mm이다. 또한 픽셀의 크기는 이미지센서의 영상폭을 6.24mm를 4000pixel(렌즈폭)으로 나누면 픽셀크기가 구하여진다. 드론 사진에서 입체시를 만들기 위한 최적의 중첩도를 위하여 중중복 80%, 횡중복 50% 이상의 중복도를 준다. 낮은 고도(H:30M)로 인한 바람의 풍속 영향으로 기체의 불안정을 최대한 극복하기 위하여 촬영 중복도를 극대화하여 촬영한다(Lee *et al.*, 2016).

## 4. 지상기준점 선점 및 측량

작업유형에 따라 지상기준점 설치시기가 조정되어야 한다. 배관갱생 및 도로망 형성 배관시설 유형은 사전답사를 통하여 대부분 기존 도로를 기준으로 추후 망실의 우려가 없는 지점에 설치가 가능하다. 배관 매설 후 도로 포장 완료 될 시점까지 지상기준점이 망실 될 우려가 없다. 그러므로 드론 촬영 전 지상기준점을 설치하여, 프로세싱한다. 단지내 도로망이 형성되어 있는 있으나, 도로 경계석 및 보도블럭 경계석 정도만 시공이 되어 있다. 지상기준점 설치 가능하나, 앞으로 도로포장 및 보도블럭 공사 등 전기, 맨홀, 도로시설물, 교통시설물, 가로수 등 기타 도로시설물 공사 시 망실 우려가 있다. 그러므로 지상기준점 설치의 최초 프로세싱을 위한 지상기준점은 대공표지설치 또는 필요한 점을 좌표 결정하고, 도로포장 완료 후 전체 지상기준점 설치를 한다.

실험지역에서 지상기준점을 확인하여 사전조사를 통하여 매설밀도 및 망의 상태를 고려하여 최소한 다른 지상기준점 1점 이상과 시통이 가능하도록 선점 하여야 한다. 4급 기준점에서 작업위치 안에 촬영 범위에서 AT 성과에 활용을

TABLE 2. Drone photograph design data

Category	Content	Note
Put drone	PHANTOM4	Made in china DJI
Camera model	FC330	
Camera focus distance	3.61mm	
Image sizes based on camera sensors	1/2.3" = 0.43"	3% For full frame
Size of research objects site	width (W): 30M height (H): 100M	FIGURE 6
Flight track spacing (SP)	= width (W) × $[\frac{100 - transversance(\%)}{100}] = 15M$	Transversance 50%
Flight number (NFL)	= $[\frac{width(W)}{flight track spacing(SP)}] + 1 = 3$ course	
Air base(B)	= height (H) × $[\frac{100 - deadpassage(\%)}{100}] = 10M$	dead passage 90%
Photo count per flight line (N/M)	= $\frac{height(H)}{air \square(B)} + 1 = 11$ scene	air base (B)
Shutter gap (SI)	= $[\frac{height(H)}{drone speed(m/s)}] \div \frac{photo count per flight}{}$ = 1.81sec	Shutter gap (SI)

위하여 추가 지상기준점을 작업지역 범위내의 외곽지역에 균등 배치하여 내부망 구성요소에 양질의 성과를 취득할 수 있게 한다. 또한 지상 기준점이 사진상에 명확하고 선명하게 보이도록 선점되게 한다. 지상기준점 측량은 2급 기준점 등을 활용하여 GPS 관측망도를 대망형태로 구성하여 선점된 4급 기준점의 관측 및 프로세싱을 통하여 프로젝트를 수행한다.

표 3의 제원으로 GRS80 타원체와 지오이드 고 산출을 근거로 해석 프로세싱 즉 기선해석계산부, 기선백터점검계산부, 조정계산부에 의하여 최종좌표를 결정한다.

TABLE 3. GPS processing data

Coordinate unit	Meters
Angular unit	DMS
Coordinate system	GRS80-Zone 3
Datam	WGS84
Geoid	KNGeoid14
Time	Korea standard time

### 5. 드론 사진 촬영

수집된 실험지역의 현황도는 촬영계획도의 기본도로 활용이 되며 촬영코스별 위치 및 코스별 간격, 횡중복, 종중복도와 사진매수 등이 촬영계

획대로 설계되어 코스별 검사표가 작성된다. 연장 50m 이하의 연속적인 도시개발 및 산업단지 등의 실시간 지하시설물도의 위치를 드론으로 촬영하는 경우 자동항법기능이 있는 드론이라 하더라도 기준 목표방향에 대부분 없는 관계로 활용성이 떨어진다. 필자가 투입한 PHANTOM4 드론은 자동항법기능으로 탭 플라이 기능이 있으나 예상경로와 실제 비행경로 사이에 편차가 있고 또한 목표방향으로 선택 할 수 있는 범위가 스크린 상에서 제한 되어있다(DJI, 2016). 저가의 드론의 경우 직접 현장에서 거리측정기로 촬영 서터 간격에 맞춰 마커용 흰분필로 도상에 표시하여 중복도를 최대한 반영한 사진매수를 참조도면에 미리 계산하여 반영한다. 또한 광활한 지역이기 때문에 바람의 불규칙한 풍속도를 고려하여 동일한 고도 유지 촬영을 신중하게 응하여야 한다. 2회 내지 3회 반복 촬영으로 이 부분은 대처 할 수 있다(Yeu, 2006)

그림 7은 드론촬영 영상자료 프로세싱의 흐름도이다(Agisoft LLC, 2012).

### 6. 공간정보 DB구축

지하시설물 실시간 좌표 구축은 최적화된 정사영상 및 3D 모델링 DB에서 Geo Referencing 된 영상에서 배관의 각 측점에서 Draw Point를

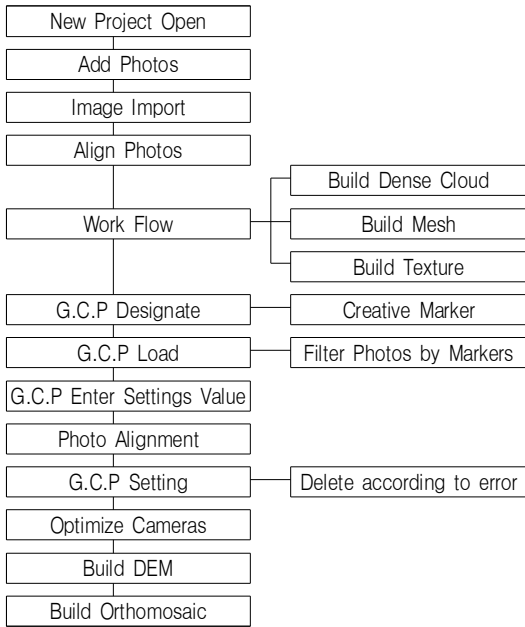


FIGURE 7. Photo scan processing working flow chart

내려 좌표값 취득 20M chain에 따라 각 측점을 내려 취합한다(Agisoft PhotoScan, 2017a).

실시간 지하시설물도를 작성하여 각 측점 작업조서를 작성한다. 또한 도로포장완료 후 사후에 동일 지점에 대하여 드론 재촬영 후 프로세싱 결과에 따라 각 측점별 작업조서를 List화하여 Shapes으로 저장하여 Export 하여 Dwg로 포맷 변환 후 최종 측점별 작업조서를 작성한다.

7. 납품용 지하시설물도 구축

그림 8과 같이 지하시설물도의 정위치 편집은 CAD프로그램을 사용하여 각 측점별 지하시설물도 작성규칙에 따라 CAD프로그램으로 정위치 편집한다. 드론 방식에서는 그림 9 3D모델링 자료 또는 정사영상 자료의 프로세싱 과정에서 다음과 같은 기능이 있다(Agisoft PhotoScan, 2017b). 메뉴에 Draw Point 기능과 Draw Poly Line 작성 기능이 있다. 이를 활용하여 Work Space 상에서 각 측점별 Shapes이 형성된다. 즉 Arc GIS에서 운용되는 형태로 Data File이 생성된다.

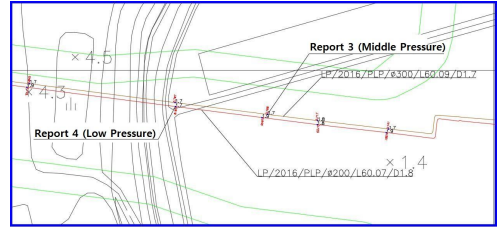


FIGURE 8. Field check data editing pipe network



FIGURE 9. Ortho image pipe network

배관망도 중압관에 대하여 20M 체인 간격으로 측점을 각 Point별 Shapes로 취득하고 또한 배관 라인은 중압, 고압 유형별로 Poly Line Shapes로 형성되므로 각 레이어별로 구분하여 속성도 작성되어 사용자가 원하는 배관라인, 관경, 관중, 심도, 기타 내용들이 저장된다 (Agisoft PhotoScan, 2017c).

Arc GIS S/W 활용 Shapes를 Dwg로 데이터 변환 후 기존방식과 동일하게 지하시설물도의 각 측점들을 합산하여 평균값을 산정하는 CAD프로그램의 Lisp을 사용하여 지하시설물도를 최종 작성한다.

8. 비교 및 분석

1) 실시간 지하시설물도 공공측량 자료공유

그림 10과 그림 11은 드론 촬영 후 프로세싱에 의한 3D모델링 현황에 의한 지상기준점 현황과 코스별 촬영성과 표정도이다. 실시간 지하시설물도 직선구간에 대하여 아래 표 4과 그림 12에서 지상기준점 List(T/S)를 적용하여 각 측점별로 정리하였다(Han, 2016; Jo, 2013). 지하시설물도 작업규정에 따라 20M 체인별 배관 계획에 따른 시공 굴착 후 굴착지점에 가스 배관



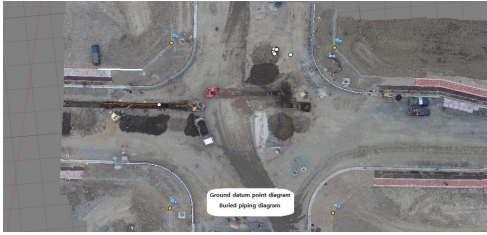


FIGURE 10. Installation status of piping after Trench city gas piping ground control point status map



FIGURE 11. City gas pipeline orientation map by drone shooting

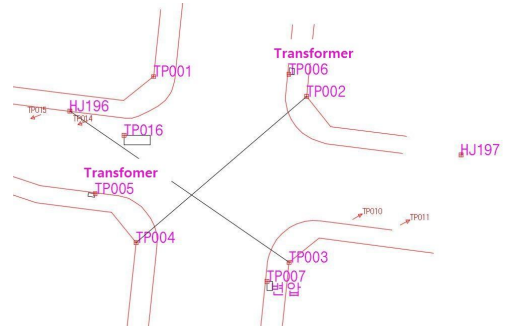


FIGURE 12. City gas piping ground control point index

작업조서 List (중압관, 저압관)의 실시간 측량높이와 사후측량 높이를 이용하여 즉 사후측량높이( $H_1$ ) - 실시간측량 높이( $H_2$ )를 계산하여 최종 지하시설물 심도 [ $(H) = (H_1) - (H_2)$ ]를 산출한다.

표 5와 표 6은 종별배관의 측점작업조서 총괄표이며 각 측점별 심도가 산출된 자료이다.

2) Survey data

실험지역에 대한 각 순차별 Image Overlap에 따른 정확도에 대한 분석이다.

$$\text{※ 산식} = \frac{\text{image overlap 8회 이상}}{\text{전체 Number of image}} \times 100$$

을 내려 시공 후에 되메우기 전 스타프를 세우고 각 측점별 심도와 위치를 T/S로 배관 되메우기 전 측점 높이와 평면위치를 취득하여 정리하고, 또한 되메우기 한 후 최종 도로 포장 후 같은 측점의 높이를 반복해서 좌표측설하고, 측점

TABLE 4. Ground Control Point(C.P) LIST(T/S)

No	X	Y	Z	Code	Note
1	277896.950	191266.151	2.555	HJ196	T.M
2	277885.620	191367.663	2.807	HJ197	T.M
3	277905.906	191287.622	2.884	TP001	T.M
4	277900.766	191327.265	2.848	TP002	T.M
5	277857.916	191322.732	2.752	TP003	T.M
6	277863.068	191283.061	2.790	TP004	T.M
7	277875.650	191272.489	2.689	TP005	T.M
8	277906.509	191322.722	2.877	TP006	T.M
9	277852.983	191317.058	2.765	TP007	T.M
10	277870.391	191341.818	2.453	TP010	T.M
11	277868.859	191354.173	2.499	TP011	T.M
12	277893.475	191267.977	2.429	TP014	T.M
13	277875.041	191255.730	2.474	TP015	T.M
14	277890.743	191280.016	2.415	TP016	T.M

TABLE 5. Intermediate pressure pipe survey worksheet

No	coordinates(GRS80)		Kinds	material	Diameter	Depth
	X(N)	Y(E)				
Middle pressure 001	277890.372	191282.534	Middle pressure	PLP	ø 300	1.7
	Real-time survey height [Middle pressure001(1)]		0.741	Post-survey h Middle 001(2)		2.456
Middle pressure 002	277891.730	191270.709	Middle pressure	PLP	ø 300	1.8
	Real-time survey height [Middle pressure002(1)]		0.717	Post-survey h Middle 002(2)		2.467
Middle pressure 003	277892.810	191262.466	Middle pressure	PLP	ø 300	1.7
	Real-time survey height [Middle pressure003(1)]		0.766	Post-survey h Middle 003(2)		2.465
Middle pressure 004	277894.760	191247.312	Middle pressure	PLP	ø 300	1.7
	Real-time survey height [Middle pressure004(1)]		0.797	Post-survey h Middle 004(2)		2.543
Middle pressure 005	277897.876	191222.917	Middle pressure	PLP	ø 300	1.7
	Real-time survey height [Middle pressure005(1)]		0.842	Post-survey h Middle 005(2)		2.581

TABLE 6. Low pressure pipe survey worksheet

No	Coordinates(GRS80)		Kinds	Material	Diameter	Depth
	X(N)	Y(E)				
Low pressure 001	277889.804	191282.099	Low pressure	PLP	ø 200	1.9
	Real-time survey height [Low pressure001(1)]		0.581	Post-survey h Low-p001(2)		2.456
Low pressure 002	277891.071	191270.664	Low pressure	PLP	ø 200	1.8
	Real-time survey height [Low pressure 002(1)]		0.723	Post-survey h Low-p002(2)		2.479
Low pressure 003	277892.298	191261.431	Low pressure	PLP	ø 200	1.9
	Real-time survey height [Low pressure003(1)]		0.640	Post-survey h Low-p003(2)		2.490
Low pressure 004	277894.135	191247.355	Low pressure	PLP	ø 200	1.7
	Real-time survey height [Low pressure004(1)]		0.819	Post-survey h Low-p004(2)		2.556
Low pressure 005	277897.284	191222.482	Low pressure	PLP	ø 200	1.9
	Real-time survey height [Low pressure005(1)]		0.742	Post-survey h Low-p005(2)		2.593

$$\begin{array}{ll}
 \textcircled{1}\textcircled{3}\textcircled{6} \quad \frac{63}{98} \times 100 = 64\% & \textcircled{2} \quad \frac{26}{54} \times 100 = 48\% \\
 \textcircled{4} \quad \frac{29}{51} \times 100 = 56\% & \textcircled{7} \quad \frac{71}{85} \times 100 = 83\% \\
 \textcircled{8} \quad \frac{35}{35} \times 100 = 100\% & \textcircled{10} \quad \frac{13}{23} \times 100 = 82\% \\
 \textcircled{12} \quad \frac{26}{54} \times 100 = 48\% & \textcircled{14} \quad \frac{49}{54} \times 100 = 90\% \\
 \textcircled{15} \quad \frac{54}{54} \times 100 = 100\% & \textcircled{16} \quad \frac{41}{41} \times 100 = 100\% \\
 \textcircled{17} \quad \frac{49}{50} \times 100 = 98\% & \textcircled{18}\textcircled{19}\textcircled{20} \quad \frac{93}{96} \times 100 = 96\%
 \end{array}$$

항공사진작업규정 제20호(항공사진중복도)에서 보면 필요에 따라 진행방향 80%까지 중복 촬영할 수 있다고 되어있다. 그러므로 각 항목별 정밀도 향상의 극대화 수량인 Image Over lap의 횟수를 8회로 정하고 산식을 적용하였다. 표 7에서 각 항목별 백분율로 보면 Overlap 90% 이상 되는 작업순번은 ⑧, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱, ⑳로써 5cm 미만의 정확도가 확보된다. 그러므

로 Image Overlap의 정밀도내 상당한 영향을 미치므로 중복도의 중요성이 입증되었다.

그림 13은 수직촬영 ⑳번 항목의 Survey Data의 Image Overlap 이미지 분포도이다. Image Overlap이 9회 이상 사진이 95매, 9회 2매, 8회가 6매, 7회 이하가 3매로써 GSD는 10.6mm/pixel 나오고 있다. 즉 Overlap 96% 결과물이다. 즉 z값 오차는 1.2cm로 나오고 있다.

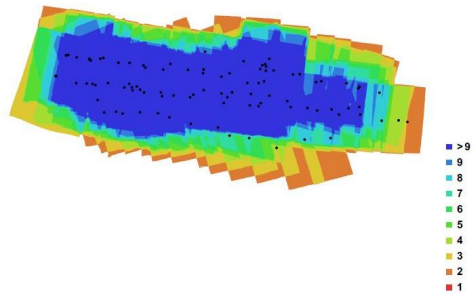


FIGURE 13. Camera locations and image overlap

TABLE 7. Survey data

Number	image Number of overlap	Flying altitude (m)	9times -	9time	8time	7-5	5 under	Ground resolution mm/pixel	Tie points	Projections	C.P	dz (cm)
①	98	19.8	43	11	9	19	16	7.38	516.284	1,572.810	3point	22.35
②	54	20.1	15	10	1	26	2	7.64	264.756	778.793	5point	5.05
③	98	19.9	43	11	9	19	16	6.93	516.284	1,572.810	5point	16
④	51	20.3	14	9	6	13	9	7.71	250.688	470.705	3point	24.85
⑥	98	19.8	43	11	9	19	16	7.41	516.284	1,572.810	3point	3.15
⑦	71	20	65	-	-	5	1	8.06	244.549	1,152.533	(5)3point	8.9
⑧-1	71	20	65	-	-	5	1	7.61	244.549	1,152.533	(6)3point	2.35
⑫	54	20.1	15	10	1	26	2	7.7	264.756	778.793	3point	9.15
⑭	54	19.3	49	-	-	-	6	14.6	230.908	1,093.207	4point	10
⑰	50	28.9	46	2	1	1	-	10.5	258.334	886.689	8point	2.7
⑱	96	28.4	85	2	6	2	1	10.3	490.426	1,819.134	11point	0.8
⑲	96	28.4	85	2	6	2	1	10.3	490.426	1,819.134	14point	0.8
⑳	96	28.3	85	2	6	2	1	10.6	508.586	1,575.251	8point	1.2
⑤	97	-	-	inoperable				-	-	-	-	-
⑧	35	81.9	24	3	8	-	-	17.6	31.468	434.412	5	10.4
⑩	23	84.3	16	1	2	4	-	20.9	92.733	288.310	6	3
⑪	39	-	-	inoperable				-	-	-	-	-
⑮	54	63.7	54	-	-	-	-	8.87	230.356	626.629	3	3.15
⑯	41	70.8	41	-	-	-	-	9.21	144.053	387.080	3	4.85

※ KASM(Korean Association of Spatial information, Surveying and Mapping): standard judgment of pipe line depth tolerance is within 30cm

3) 중압배관 측점별 분석 결과

표 8에서 실험지역의 드론 촬영 성과는 수차례 현장 투입해서 2017년 실시한 수직/사각촬영성과를 병행하여 프로세싱하였다. 로드된 사진의 취사선택과정을 거쳐 최적의 성과를 도출하였다. 각 사진별 Align Photos를 거쳐 Work Flow를 만족할만한 3D 모델링 데이터의 최종 중압배관 측점별 분석 결과이다.

협회성과심사기준이 심도오차 30cm 이내이다. 17개 과정 중 7번 항목만이 오차를 초과하고 있다. 7번 항목은 GSD 및 C.P RMSE가 수직촬영기준 프로세싱결과에서 상대적으로 제일 불량하였다.

4) Control Points RMSE

표 9에서 지상기준점의 허용오차에서 지상기준점의 RMSE 분석은 평면기준점 표준편차 10cm 이내 표고기준점 표준편차 5cm 이내로써 XY error 뿐만 아니라 Total error가 허용오차 범위를 벗어나는 4번, 10번, 14번 프로세싱에서 높이값 오차 범위를 보면 4번 0.49cm로써 1cm 미만의 오차값으로 위와 같이 산출되었다. 10번 결과는 3.18cm, 14번은 5.18cm로 산출되었다.

5) 검증항목별 종합판정

표 10에서 Total 오차가 허용오차 범위를 초

TABLE 8. Intermediate pressure pipe survey point analysis table

NO	TYPE	X(N)	Y(E)	SurveyZ-draw pointZ dz(cm)	NO	TYPE	X(N)	Y(E)	SurveyZ-draw pointZ dz(cm)
		GRS80		GRS80					
①	Survey	277890.341	191282.551	24.2	⑩	Survey	277890.341	191282.551	3.0
	Photoscan	277890.230	191282.734			Photoscan	277890.229	191283.007	
②	Survey	277891.683	191270.699	20.5	⑪	Survey	277891.683	191270.699	3.0
	Photoscan	277891.794	191271.155			Photoscan	277891.683	191270.973	
③	Survey	277890.341	191282.551	7.3	⑫	Survey	277890.341	191282.551	8.7
	Photoscan	277890.340	191282.825			Photoscan	277890.230	191282.460	
④	Survey	277891.683	191270.699	2.8	⑬	Survey	277891.683	191270.699	9.6
	Photoscan	277891.461	191271.155			Photoscan	277891.905	191270.973	
⑤	Survey	277890.341	191282.551	26.1	⑭	Survey	277890.341	191282.551	10.0
	Photoscan	277890.230	191282.734			Photoscan	277890.341	191282.278	
⑥	Survey	277891.683	191270.699	6.0	⑮	Survey	277890.341	191282.551	6.1
	Photoscan	277891.683	191271.338			Photoscan	277890.451	191282.825	
⑦	Survey	277890.341	191282.551	2.9	⑯	Survey	277891.683	191270.699	0.2
	Photoscan	277890.341	191282.369			Photoscan	277891.572	191270.881	
⑧	Survey	277891.683	191270.699	20.7	⑰	Survey	277890.341	191282.551	5.8
	Photoscan	277892.016	191270.608			Photoscan	277890.340	191282.733	
⑨	Survey	277890.341	191282.551	0.3	⑱	Survey	277891.683	191270.699	3.9
	Photoscan	277890.340	191283.007			Photoscan	277891.794	191271.338	
⑩	Survey	277891.683	191270.699	6.0	⑲	Survey	277890.341	191282.551	3.5
	Photoscan	277891.683	191270.973			Photoscan	277890.341	191282.734	
⑪	Survey	277890.341	191282.551	37.0	⑳	Survey	277891.683	191270.699	1.9
	Photoscan	277890.229	191282.916			Photoscan	277891.683	191271.246	
⑫	Survey	277891.683	191270.699	33.0	㉑	Survey	277890.341	191282.551	0.7
	Photoscan	277891.794	191271.064			Photoscan	277890.340	191282.916	
⑬	Survey	277890.341	191282.551	9.5	㉒	Survey	277891.683	191270.699	0.9
	Photoscan	277890.230	191282.734			Photoscan	277891.794	191271.247	
⑭	Survey	277891.683	191270.699	11.3	㉓	Survey	277890.341	191282.551	0.3
	Photoscan	277891.572	191270.973			Photoscan	277890.229	191282.916	
⑮	Survey	277890.341	191282.551	1.8	㉔	Survey	277891.683	191270.699	1.3
	Photoscan	277890.230	191282.825			Photoscan	277891.793	191271.155	
⑯	Survey	277891.683	191270.699	2.9	㉕	Survey	277890.341	191282.551	3.6
	Photoscan	277892.127	191270.882			Photoscan	277890.229	191282.916	
						Survey	277891.683	191270.699	1.2
						Photoscan	277891.904	191271.064	

TABLE 9. Control points RMSE

No	Count	X error(cm)	Y error(cm)	Z error(cm)	XY error(cm)	Total(cm)	Image Pix
①	3	2.40009	4.98498	0.182131	5.53267	5.53567	3.410
②	5	0.447392	0.833117	1.1731	0.945644	1.50678	2.312
③	5	3.50966	4.3756	4.82369	5.60882	7.39776	2.136
④	3	20.9706	17.6539	0.490567	27.4122	27.4166	21.176
⑥	3	1.005	1.58	0.21	1.87	1.89	0.666
⑦	3	4.555	7.499	0.20	8.77	8.77	15.088
⑧	5	2.377	3.13	1.82	3.93	4.33	1.647
⑧-1	3	4.55584	7.4995	0.206237	8.77486	8.77728	15.088
⑨	5	2.377	3.13	1.82	3.93	4.33	1.647
⑩	6	10.905	12.614	3.18	16.6	16.9	2.921
⑫	3	0.4398	0.83955	0.0328	0.947	0.948	2.507
⑭	4	18.00	13.39	5.18	22.44	23.03	1.524
⑮	3	9.26745	3.32345	0.0876394	9.84553	9.84574	1.470
⑯	3	4.8791	2.66172	0.0580439	5.55791	5.55821	1.441
⑰	8	3.29076	1.96759	1.51427	3.83413	4.12232	1.220
⑱	11	1.65879	1.21626	1.13922	2.05691	2.35132	1.111
⑲	14	2.221423	4.37959	4.24324	4.90751	6.48758	1.934
⑳	8	0.871425	1.96501	1.23286	2.14957	2.47802	1.856

TABLE 10. Comprehensive decision by verification item

Category NO	Drift angle Error	Add photos & Align Photos	G.C.P		Datum point arrangement	Image overlap	Synthetic judgment
			Quantity	RMSE			
①	1 Course adjustment	98scene OK	3	5.53	Lean to up arrangement	64%	Suitability
②	3 Course adjustment	54scene OK	5	1.50	Up and down even arrangement	48%	Suitability
③	1 Course adjustment	98scene OK	5	7.39	Up and down lean to the right	64%	Suitability
④	2 Course adjustment	51scene OK	3	27.41	Up and down even arrangement	56%	Incongruity
⑥	1 Course adjustment	98scene OK	3(5) 2Point elimination	1.89	Up even arrangement	64%	Suitability
⑦	1 Course adjustment	71scene OK	3(5)	8.77	Up and down even arrangement	83%	Incongruity
⑧-1	1 Course adjustment	71scene OK	3(6)	8.77	Up even arrangement	100%	Suitability
⑫	1 Course adjustment	54scene OK	3(5)	0.94	Up and down even arrangement	48%	Suitability
⑭	2 Course adjustment	54scene OK	4	23.03	Up and down even arrangement	90%	Incongruity
⑰	1 Course adjustment	50scene OK	8	4.12	Up7p, down1p even arrangement	98%	Suitability
⑱	1 Course adjustment	96scene OK	11	2.35	Up8p, down3p even arrangement	96%	Suitability

TABLE 10. Continued

Category NO	Drift angle Error	Add photos & Align Photos	G.C.P		Datum point arrangement	Image overlap	Synthetic judgment
			Quantity	RMSE			
⑰	1 Course adjustment	96scene OK	14	6.48	Up8p, down6p even arrangement	96%	Suitability
⑳	1 Course adjustment	96scene OK	8	2.47	Up4p, down6p even arrangement	96%	Suitability
㉑	1 Course adjustment	35scene OK	5	4.33	Up(2)down(3) even arrangement	100%	Suitability
㉒	OK	23scene OK	6	16.9	Up(3)down(3) even arrangement	82%	Suitability
㉓	1 Course adjustment	54scene OK	3(6)	9.84	Up(2)down(1) even arrangement	100%	Suitability
㉔	1 Course adjustment	41scene OK	3(6)	5.55	Up(2)down(1) even arrangement	100%	Suitability

TABLE 11. Comparison table of drawn and actual manpower input

Existing method		(108M / 1day, Pipe 18EA, 2part)
A work unit	In put manpower	Remark
Depth and location	Intermediate level engineer 2 Beginning engineer 2	108M/team × 2par = In put 2team
Report and Edit	Beginning engineer 1	0.5(p) × 2(part) = 1(p)
Total	5person	Intermediate level 2, beginning 3
Using drone		(108M / 1day, Pipe 18EA, 2part)
A work unit	In put manpower	Remark
Photograph	Beginning 1	10(m)/1time × 18ea × 2ea = 180(m) × 2ea = 6hour
Processing	Intermediate level 1	Processing time : 2hour, networking stroke reflection
Report	Beginning 1	
Total	3person	Intermediate level 1, Beginning 2

과한다고 해서 높이오차가 비례해서 나타나는 것은 아니며 상대적으로 Add Photos, Align Photos, Image Overlap, 지상기준점 수량과 배치가 정밀도에 영향을 미친다. 그러므로 지상기준점 Total 오차가 허용오차 범위 내에 있는 것이 각 배관 축점의 draw point도 허용오차 범위 내에 있는 것이 증명되었다.

상기 분석결과 ④번 C.P RMSE가 10cm를 초과하고 있어서 부적합으로 판정한다. ⑦번은 3D 모델의 배관심도오차 30cm를 초과하여서 부적합 판정한다. ⑭번은 동영상 커팅단사진 활용 GEO Tag 추정값 사용으로 부적합 판정한다. 그러나 ④번과 ⑭번은 심도오차가 성과심사기준인 30cm 이내에 있다. 사각촬영부분에서는 G.C.P의 RMSE가 오차범위를 벗어나고 있으나, Add pho

tos & Align photos와 Image overlap 항목이 부족한 부분을 만회하고 있다. 사각부분 프로세싱 결과는 4종류 모두 적합으로 판정한다. 상기 검증항목을 고려하여 실무에 반영하면 드론을 이용한 지하시설물도의 작성활용 가능성을 보여주었다.

## 경제성 검토

표 11에서 각 작업방식별 1일 작업량 배관연장 108M를 기준으로 비교한다. 사전작업계획 및 준비와 지상기준점 측량 부분은 동일 공정이므로 이 부분에서는 언급하지 않고 서로 다른 공정만 투입인력별로 비교하였다. 작업현장의 특히 배관공사가 동시에 신설구간 양쪽에서 터파기 작업으로 공사 시 인력투입현황을 고려하여 비교하였다.

인력투입현황 단순 비교 시 드론 방식이 투입 인력 40% 이상 절감되었다.

## 결 론

실험지역을 중심으로 7번에 걸쳐서 촬영을 실시 총 1,343매의 이미지를 획득하였다. 수직촬영과 사각촬영을 각 횟수 때마다 실시하였으며, 지상기준점 측량점수로 14점을 균일하게 배치하여 각각의 프로세싱에 적용하여 3D모델링 및 정사영상 데이터를 구축하였다. 수직촬영과 사각촬영 성과의 각각의 특성이 파악되었다. 전반적으로 3D모델링에 의한 정밀도로 동일 G.C.P 수량으로 프로세싱 할 경우 사각촬영이 전반적으로 수직촬영 성과보다 양호한 결과 값이 취득되었다. 정사영상 품질은 저하되었다.

종합판정결과에서 전체 17개 프로세싱 결과 중 부적합 판정기준인 평면기준점 RMSE 10cm 이상 초과는 초기에 실험한 2개 프로세싱뿐이다. 또한 배관측점별 결과도 공공측량성과 심사기준인 심도오차 30cm 이내에 충족되어 있어 정확도 확보에 대한 검증은 증명되었다.

드론을 이용한 정사영상 자료를 구축하여 토목공사 시 시설물 배관공사 중 시설물의 위치정보와 심도 측정을 통하여 지하시설물도 작성기법을 개발, 실무 적용 가능성을 확인해보는데 집중하였으며 지하시설물도의 작성을 위해 실제 적용 시 실행비 절감이 반영되는 경제성도 증명하였다.

국가, 지자체, 공공기관에서 발주되고 있는 실시간 지하시설물도 작성 용역사업을 현재 방법과 병행하여 드론에 의한 지하시설물도 작성 신기술을 적용하여 4차 산업의 한축으로써 국가사업의 일익을 담당하기를 소원하며 드론에 의한 공간정보 취득 관련 법규도 함께 개정이 이루어져 실무 적용이 조속하게 이루어지길 기대한다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Agisoft LLC. 2012. Agisoft photo scan user manual : standard edition, version 0.8.5. pp.6-32.
- Chun, B.S. 2017. Analysis of small scale topographic change using drone digital images. Master's Thesis, Univ. of Transportation, Chungbuk, Korea. p.30(천병석. 2017. 드론 디지털 영상을 이용한 소규모 지형변화 분석. 한국교통대학교 글로벌융합대학원 석사학위논문 30쪽).
- DJI. 2016. PHANTOM4 user manual quick start guide V1.2 (팬텀4 사용설명서 콕스타트 가이드 V1.2. 1-64쪽).
- Han, S.H. 2016. Introduction to photogrammetry and remote sensing. Goomibook Co., Seoul, pp.129-219 (한승희. 2016. 사진측량 및 원격탐측 개론. 구미서관, 서울. 129-219쪽).
- Jo, J.H. 2014. Accuracy and economic feasibility study of orthoimage map production using UAV. Master's Thesis, Univ. of Seoul, Seoul, Korea. pp.53 (조준희. 2014. UAV를 이용한 정사영상제작의 정확도 및 경제성 분석, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문 53쪽).
- Jo, K.C. 2013. Geomatics engineering. Yong Se Publishing Co., Seoul, pp.486-516 (조규전. 2013. 측량정보공학. 양서각, 서울. 486-516쪽).
- Jo, Y.S. 2015. Construction of 3D spatial information and development of site management system using UAV. Ph.D. Thesis, Univ. of Chungbuk, Chungbuk, Korea. pp.60 (조영선. 2015. UAV를 이용한 3차원 공간정보 구축 및 현장관리시스템 개발. 충북대학교 대학원 박사학위논문 60쪽).
- Ju, H.S. 2011. Geoinformatics. Korea Scholarship information Co., Kyung Ki Do. pp.399-403 (주현승. 2011. 지오인포매틱스. 한국학술정보, 경기도. 399-403쪽).
- Jun, I.S. 2017. Standard of construction estimate. Study of construction publishing Co., Seoul, pp.553-672 (전인식. 2017. 건

- 설표준품셈. 건설연구사, 서울. 553-672쪽).
- Kim, G.H. 2016. A study on the acquisition of spatial information using an ultralight unmanned aerial vehicle. Master' s Thesis, Univ. of Kangwon, Kangwon, Korea. p.33 (김지항. 2016. 초경량 무인비행장치를 활용한 공간정보 취득에 대한 연구. 강원대학교 정보과학행정대학원 석사학위논문 33쪽).
- Kim, J.T. 2016. A study on 3D mapping system utilization using drones. Master' s Thesis, Univ. of Kyungsoo, Busan, Korea. p.18 (김정태. 2016. 드론을 이용한 3D 맵핑 시스템 활용에 대한 연구. 경성대학교 예술종합대학원 석사학위논문 18쪽).
- Kim, S.K. 2014. A study on construction and application of spatial information utilizing unmanned aerial vehicle system. Ph.D. Thesis, Univ. of Mokpo, Chunnam, Korea. p.100 (김석구. 2014. 무인비행시스템을 이용한 공간정보 구축 및 활용에 관한 연구, 목포대학교 대학원 박사학위논문 100쪽).
- Lim, H.M. 2010. Construction and updating of 3D spatial information for small areas using UAV. Ph.D. Thesis, Univ. of Chungbuk, Chungbuk, Korea. p.73 (임형민. 2010. 무인항공기를 이용한 소규모지역의 3차원 공간정보 구축 및 갱신. 충북대학교 대학원 박사학위논문 73쪽).
- Lee, K.W., H.E. Song and D.I. Kim. 2016. Drone remote sensing photogrammetry. Goomibook Co., Seoul, pp.314-404 (이강원, 손호웅, 김덕인. 2016. 드론 원격탐사 사진측량. 구미서관, 서울. 314-404쪽).
- Pyen, S.J. 2015. Why drones now. Mirae-book Co., Seoul, pp.159-168 (편석준. 2015. 왜 지금 드론인가. 미래의창, 서울. 159-168쪽).
- Agisoft PhotoScan. 2017a. Tutorial(beginner level) : orthomosaic and DEM generation with Agisoft Photo Scan Pro1.2 (With Ground Control Points), pp.1-17.
- Agisoft PhotoScan. 2017b. Tutorial(intermediate level) : 3D model reconstruction of the building with Agisoft Photo Scan 1.1, pp.1-8.
- Agisoft PhotoScan. 2017c. Tutorial(intermediate level) : dense cloud classification and DTM generation with Agisoft Photo Scan Pro 1.1, pp.1-6.
- Yeu, B.M. 2006. Digital surveying engineering. PakYoungSa Co., Seoul, pp.583-608 (유복모. 2006. 디지털측량공학. 박영사, 서울. 583-608쪽). 