

무인항공영상 기반 3D 모델의 세밀도와 위치정확도 평가

이재원, 김두표*, 성상민
동아대학교 토목공학과

Assessment of LODs and Positional Accuracy for 3D Model based on UAV Images

Jae One Lee, Doo Pyo Kim*, Sang Min Sung
Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

요약 무인항공사진측량은 기존의 유인항공사진측량에 비하여 고해상도의 영상을 신속하게 취득하여 활용할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 무인항공사진측량을 이용한 3차원 공간정보의 활용성이 커지는 시점에서 무인항공사진측량을 이용한 3차원 모델 제작은 상당히 중요한 문제이다. 이에 본 연구에서는 무인항공사진측량을 이용하여 3차원 모델을 제작하고 정성적 및 정량적 분석을 통하여 활용 가능성을 판단하고자 하였다. 정성적 분석은 3차원 국토공간정보 구축 작업규정에 명시된 세밀도를 이용하여 분석하였다. 그 결과 평면상에 존재하는 지형·지물의 경우 높은 세밀도 Level을 보였지만, 고저차가 있는 지형·지물의 경우 폐색지역 및 시차로 인하여 낮은 세밀도 Level을 나타냈다. 정량적 분석은 검사점과 주변 구조물에서 취득한 3차원 좌표를 이용하여 분석하였다. 그 결과 검사점의 경우 평균오차가 평면에서 0.042~0.059 m, 표고에서 0.050~0.161 m로 나타났으며 구조물의 모서리를 이용한 정확도 분석 결과는 평균오차가 평면에서 0.068 m, 표고에서 0.071 m로 나타났다. 따라서, 무인항공사진측량에 의한 3차원 모델은 디지털 트윈, 사면 경사도 분석 및 BIM분야에도 활용 가능성이 있다고 판단된다.

Abstract Compared to aerial photogrammetry, UAV photogrammetry has advantages in acquiring and utilizing high-resolution images more quickly. The production of 3D models using UAV photogrammetry has become an important issue at a time when the applications of 3D spatial information are proliferating. Therefore, this study assessed the feasibility of utilizing 3D models produced by UAV photogrammetry through quantitative and qualitative analyses. The qualitative analysis was performed in accordance with the LODs (Level of Details) specified in the 3D Land Spatial Information Construction Regulation. The results showed that the features on planes have a high LoD while features with elevation differences have a low LoD due to the occlusion area and parallax. Quantitative analysis was performed using the 3D coordinates obtained from the CPs (Checkpoints) and edges of nearby structures. The mean errors for residuals at CPs were 0.042 m to 0.059 m in the horizontal and 0.050 m to 0.161 m in the vertical coordinates while the mean errors in the structure's edges were 0.068 m and 0.071 m in horizontal and vertical coordinates, respectively. Therefore, this study confirmed the potential of 3D models from UAV photogrammetry for analyzing the digital twin and slope as well as BIM (Building Information Modeling).

Keywords : UAV(Unmanned Aerial Vehicle), Photogrammetry, High resolution image, 3D model, LoD(Level of Detail)

본 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (과제번호:NRF-2018R1D1A1A02085675)

*Corresponding Author : Doo-Pyo Kim(Dong-A Univ.)

email: ksosdgk@hanmail.net

Received August 12, 2020

Accepted October 5, 2020

Revised September 7, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

사람이 탑승하지 않고 원격 조정 및 자동 비행이 가능한 무인비행체 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle), 일명 드론이 4차 산업혁명의 핵심기술로 선정되면서 활용성이 높아지고 있다. 주로 무인항공기는 운송, 농업, 감시 등에 활용되어왔으나 최근 드론에 카메라 탑재가 가능해지고 영상처리 소프트웨어가 개발되면서 무인항공사진측량 분야에서의 활용성 또한 증대되고 있다. 특히 무인항공사진측량은 기존의 유인항공사진측량에 비하여 제약조건이 적으면서도 신속 정확하게 3차원 공간정보 취득이 가능하다는 장점이 있다. 또한 3차원 공간정보의 필요성이 나날이 높아지고 있는 현대에서 무인항공영상의 활용가치는 더욱 높아지고 있다.

UAV를 이용한 공간정보 취득에 관한 기존 연구를 살펴보면 무인항공영상을 취득하여 제작된 정사영상과 DSM (Digital Surface Model)에서 검사점의 좌표를 취득하여 현장에서 취득한 좌표와 비교한 3차원 정확도에 관련된 연구가 이루어져왔다[1,2]. 뿐만 아니라, 무인항공영상으로 제작된 여러 성과를 이용하여 지도 제작 방법별 정확도를 실제 지형·지물을 수치지도와 비교하여 정확도를 분석함으로써 지도제작의 가능성을 평가하였다[3]. 또한 지적도 및 건축물 현황도와 정확도를 비교하여 건물 경계 추출 및 등록 가능성에 대하여 제시한 바 있다[4].

한편 무인항공사진측량으로 제작된 3차원 모델에 관한 연구로는 하나의 객체를 중심으로 영상을 취득하여 3차원 모델을 제작하고 정확도를 분석한 연구가 이루어져왔으며 3차원 모델도 이전 연구와 마찬가지로 검사점을 이용하여 정확도를 분석해 왔다[5,6]. 그러나 현재 디지털 트윈, 가상현실, 자율주행도로 등 3차원 공간정보 기반 서비스가 확대되면서 가상현실 세계의 필요성이 높아지고 있다. 이에 국토지리정보원은 3차원 국토공간정보 구축 작업규정을 만들어 품질을 확보하고자 하였다[7].

한편, BIM 분야에서는 효율적인 3차원 모델을 제작하기 위하여 세밀도에 관한 연구가 이루어져 왔으나 주로 실감 영상을 바로 제작하는 것이 아닌 3차원 객체 모델을 제작하여 사용해왔다. 넓은 범위의 3차원 국토공간정보를 구축하기 위해서는 UAV로 취득된 영상을 기반으로 제작된 3차원 모델을 활용할 필요가 있으며 이에 따라 세밀도의 분석이 필요하다. UAV를 이용하여 3차원 모델을 제작하고 분석하는데 주로 하나의 객체 위주로 촬영된 영상을 기반으로 하나 넓은 범위를 3차원으로 공간정보화 하기에는 효율성이 낮아진다. 이에 본 연구에서는

일반적으로 지도 제작을 목적으로 취득된 무인항공영상을 이용하여 3차원 모델을 제작하였다. 그리고 검사점 및 구조물의 모서리 좌표를 이용하여 3차원 모델의 정확도와 세밀도를 정량적 및 정성적으로 분석하여 실제 활용 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 배경이론

2.1 SfM(Structure from Motion)

SfM은 여러 영상에서 동일한 지점을 특징점으로 추출하여 3차원 형상을 구현하는 것으로 영상의 외부표정요소 없이도 카메라의 자세 결정이 가능한 방법이다. 이때 특징점을 추출하는 방법은 대표적으로 SIFT, SURF, BRIF 등이 있다. SfM이 외부표정요소 없이 카메라의 자세 결정이 가능한 것은 여러 영상에서 특징점 매칭을 통해 재구성되기 때문이다[8].

SfM을 이용한 3차원 형상 구현 과정은 SIFT를 이용하여 특징점을 추출하고 광속조정법을 이용하여 여러 영상에서 다수의 특징점을 추출하여 영상자세의 최적값을 찾아낸다. 영상의 자세가 결정되면 지상 기준점을 이용하여 3차원 포인트 클라우드를 생성하는데 이때 모든 영상의 픽셀이 이용되어 높은 밀도의 포인트 클라우드가 생성되며 이러한 과정을 Multi View Stereo (MVS)라 한다[9]. Fig. 1은 SfM을 이용하여 여러 중복사진의 위치를 추측하고 가상의 3차원 위치를 재구성하는 개념을 나타내고 있다[10].

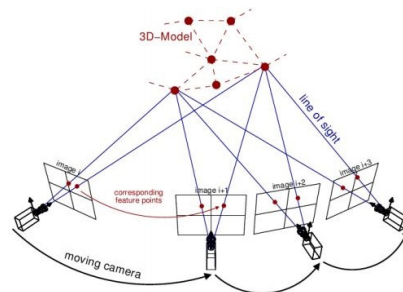


Fig. 1. Concept of SfM [10]

2.2 LoD (Level of Detail)

2.2.1 LoD의 개념

LoD는 메쉬 모델링 데이터의 정밀도를 단계별로 조정하는 기술로 오래전부터 컴퓨터비전분야에서 3차원 모델 제작 시 필요에 따라 품질을 정하여 효율성을 재고하

기 위한 목적으로 연구되어 왔다[11].

LoD는 데이터 저장 방식에 따라 정적 LoD와 동적 LoD로 구분된다. 정적 LoD는 단계별 여러 개의 메쉬를 미리 준비하여 필요에 따라 각 지형의 LoD 단계 값에 맞는 메쉬 자료를 사용하는 것으로 미리 메쉬를 준비해 두기 때문에 속도가 빠르지만 데이터의 양이 방대해져 저장 공간이 많이 확보되어야 하는 단점이 있다. 하지만 현대에는 고성능 GPU가 개발됨에 따라 주로 정적 LoD를 사용하는 추세다. 동적 LoD는 실시간으로 LoD단계를 변화시키는 기법으로 섬세한 조각이 가능하지만 속도가 느리다는 단점이 있다[12].

2.2.2 LoD관련 규정

BIM 분야에서는 ISO TC 211에 의해 제작 및 배포된 국제적인 표준인 CityGML을 기준으로 LoD를 구분한다. CityGML에서 제시한 LoD는 단계를 0~4까지 총 5개의 단계로 구분하였으며 LoD 0은 대략적인 지형모델을 나타내고 LoD 1은 실제 형태와 상관없이 박스 형태




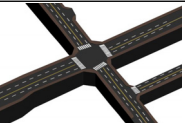
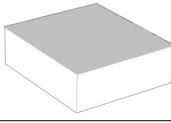
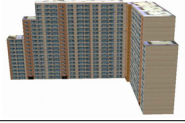






로 제작하며 LoD 2는 벽, 지붕과 같은 외부적인 형태를 고려하여 묘사한다. LoD 3은 창문, 문과 같은 외부 구조를 더욱 세부적으로 묘사하며 LoD 4는 내부공간까지 묘사하고 있다[11].

한편, 우리나라는 국토공간정보구축을 위하여 국토지리정보원에서 3차원 국토공간정보구축작업규정을 고시하였다. 해당 규정은 3차원 모델에 대한 세밀도를 4개의 Level로 나누어 제시하고 있다. 일반적으로 Level 1은 단순한 3차원 심볼만을 나타내고 Level 2는 색깔 텍스처를 묘사하며 Level 3은 가상 영상 텍스처를 부여하고 세세한 부분까지 나타낸다. Level 4는 세부적인 묘사와 함께 실사영상 텍스처가 부여되어야 한다. 「3차원 국토공간정보구축작업규정」은 Table 1과 같이 3차원 교통데이터, 건물데이터, 수자원데이터의 표준데이터셋을 분류하고 있으며 세부 항목별 세밀도 및 가시화정보 제작기준을 제시하고 있다. Table 2는 「3차원 국토공간정보구축작업규정」의 세밀도 및 가시화정보 제작기준별 예를 나타낸 것이다[7].

Table 1. Classification of LODs

large classification	3D traffic data			3D building data		3D water resource data
middle classification	road	railroad	traffic facility	residential buildings	extra-residential building	specialized water resources
sub classification	unit road surface / road cross section	unit railroad surface	bridge / tunnel / road traffic facilities	general house / apartment house	public institution / industrial facilities / welfare facilities etc.	revetment / levee

Table 2. Examples of 3D model production by each LOD

classification	Samples			
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Traffic data				
Building data				
Water resources data				

3. 실험 및 분석

3.1 연구방법

무인항공사진측량으로 제작된 3차원 모델의 세밀도 및 정확도를 분석하기 위하여 여러 지역에서 다양한 지형·지물에 대한 영상을 취득하여 3차원 모델을 제작하였다. 3차원 모델 제작 영상은 GSD (Ground Sample Distance) 5cm 이내로 취득된 영상을 이용하였으며 Bentley사 Context Capture를 이용하여 제작하였다. 결과 분석은 정성적 분석과 정량적 분석으로 나누어 진행하였다. 3차원 모델의 정성적 분석을 위하여 국토지리정보원에서 고시한 「3차원국토공간정보구축작업규정」에 따라 세밀도를 교통데이터, 건물데이터, 수자원 데이터로 분류하여 분석하였다. 정량적 분석을 위하여 검사점과 지형·지물에 대한 3차원 좌표를 취득하여 3차원 모델에서 추출한 좌표와 비교하여 정확도를 분석하였다.

3.2 연구 대상지 및 영상취득

연구 대상지는 3차원 모델의 세밀도 분석 시 다양한 지형·지물을 분석하기 위하여 Fig. 2와 같이 경남 소재 A, B, C 세 지역의 영상을 촬영하였다. 각 연구 대상지의 특성을 살펴보면 A지역은 주로 농경지로 이루어진 지역이며, B지역은 고저차가 많이 나는 지형, C지역은 도심지로 건물이 많은 특성이 있다. 3차원 모델의 정확도를 높이기 위하여 촬영 전 지상기준점을 설치하고 정확도 분석을 위한 검사점을 선점하여 Network RTK-VRS (Real Time Kinematic Virtual Reference Station)로 3차원 좌표를 취득하였다. 한편 3차원 모델의 정확도를 더욱 세밀하게 분석하기 위하여 A 지역 내 일부 지형·지물을 선정하여 Network RTK-VRS와 토탈스테이션을 이용하여 3차원 좌표를 취득하였다.

영상 취득에 사용된 무인항공기는 DJI사 Phantom4 pro와 Sensefly사 eBee 두 가지 기체를 사용하였다. A, B 지역 촬영 기체는 Phantom4 pro로 회전익 기체로 조종이 용이하고 2축 짐벌을 탑재하고 있어 레저용 및 영상 촬영용으로 많이 사용되는 장비이며 C지역 촬영 기체인 eBee는 고정익 기체로 한번 비행으로 넓은 범위의 영상을 취득할 수 있다. 센서는 Phantom4 pro는 FC6310, eBee는 Canon PowerShot ELPH 110 HS를 사용하였다. Table 3은 기체 및 센서의 제원을 나타내고 있다. 영상 촬영 고도는 이론적 GSD가 5 cm이내가 되도록 설정하여 촬영하였으며 중중복도 60%, 횡중복도

70%로 촬영하였다. Table 4는 연구 대상지 이론적 GSD 및 운항고도, 중복도를 정리한 것이다.

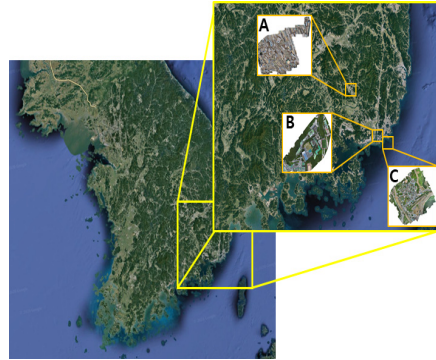


Fig. 2. Study Area

Table 3. Specifications of UAVs and sensors



Item		UAV	
		Rotary wing	Fixed wing
UAVs	Appearance		
	Company	DJI	senseFly
Sensors	Model	FC6310	PowerShot ELPH 110 HS
	Company	DJI	Canon
	Focal length	8.8 mm	4.0 mm
	Resolution	20.0 MP	16.1 MP

Table 4. Flight parameters in each study area

Area	GSD (cm)	Flight height (m)	Overlap (%)	
			Endlap	Sidelap
A	2.5	90	60	70
B	2.5	90	60	70
C	4.5	120	60	70

3.3 3차원 모델 제작

무인항공영상을 이용한 3차원 모델 제작은 Bentley사의 Context Capture를 이용하였다. Context Capture는 3차원 모델을 제작하는데 강점을 보이는 무인항공사진측량 프로그램으로 Viewer를 이용하면 해당 3차원 모델을 세부적으로 확인하여 정확도를 구하고자 하는 지점의 3차원 좌표, 길이, 면적, 체적 등을 확인할 수 있다.

UAV로 취득된 영상 및 GCP를 Fig. 3과 같이 입력하

여 특징점을 추출하고 3차원 모델을 제작하였다. Fig. 4는 Context Capture를 이용하여 추출한 초기 포인트클라우드와 최종적으로 제작된 3차원 모델을 나타낸 것이다.

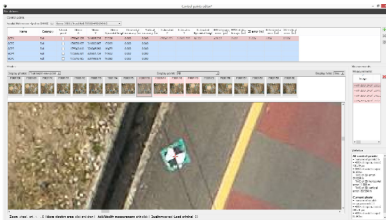


Fig. 3. Process of GCP input

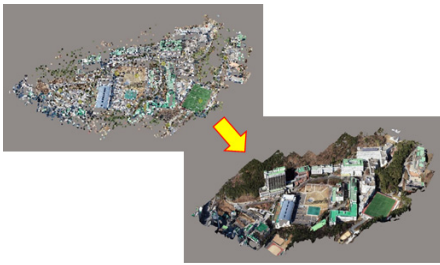


Fig. 4. Producing of sparse point clouds and 3D model by context capture

4. 결과 분석

4.1 정성적 분석

4.1.1 교통 데이터 LoD 분석

교통 데이터 세분류에 나타나 있는 항목 중 도로, 철도, 교량에 대한 3차원 모델을 제작하여 세밀도를 분석하였다. 분석 결과 도로의 경우 중심선, 차선, 횡단보도 등 모두 실사영상으로 제작되었으나 인도와 차도의 경계가 명확하지 않아 3차원 국토공간정보구축작업규정의 세밀도 Level 4를 만족시키지 못하였다. 철도 또한 철로 및 주변 지형·지물이 완벽히 제작되지 않아 Level 3의 수준을 나타냈으며, 교량은 Table 5에 나타난 것과 같이 교량의 형태는 확인 할 수 있으나 하부의 교각 부분이 제작되지 않아 규정상 Level 1의 세밀도를 나타내고 있다. 교통데이터의 경우 대부분 높은 세밀도를 나타내고 있지만 교량과 같이 고저차가 있는 경우 3차원 모델 제작의 어려움이 있는 것으로 보아 지형·지물의 고저차가 3차원 모델 제작에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

Table 5. LoDs in traffic data

Features	LoD	3D model
Road	Level 3	
Rail road	Level 3	
Bridge	Level 1	

4.1.2 건물 데이터 LoD 분석

건물의 세밀도는 단층, 중층(5층 이하), 고층 건물을 대상으로 분석하였다. Table 6의 단층건물 중 주택의 경우 실사영상으로 제작되었으며 지붕의 구조는 구현하였으나 수직적·수평적 돌출부 및 함몰부를 완벽하게 구현하지 못하였다. 중층건물인 학교의 3차원 모델의 경우 단층과 마찬가지로 실사영상 및 옥상부의 구조는 일부 구현하였으나 수평적인 돌출부 및 함몰부가 완벽하게 제작되지 않아 세밀도 Level 3을 나타냈다. 고층 건물의 경우 옥상의 담벼락이 일부분만 제작되어 수직적 돌출부 제작 어려움으로 인하여 세밀도 Level 2를 나타냈다. 전반적으로 건물의 경우 낮은 층일수록 3차원 모델이 높은 세밀도로 제작되었으며 층이 높아질수록 높은 세밀도를 나타내기 힘들었다. 고층 건물일수록 수직 촬영 시 발생하

Table 6. LoDs in building data

Features	LoD	3D model
Single story building	Level 3	
Medium story building	Level 3	
High story building	Level 2	

는 폐색지역 및 시차로 인한 왜곡이 더 크게 나타나 3차원 모델의 제작에 어려움이 있는 것으로 판단된다. 또한, 고정익으로 촬영된 영상으로 제작한 3차원 모델의 경우 중층건물은 Fig. 5와 같이 건물의 형태가 왜곡이 생기는 경우가 일부 있었는데 이러한 경우는 주로 영상촬영대상의 외곽지역으로 정합되는 영상의 수가 적어서 발생하는 현상이며 건물의 높이에 따라 영상에서 해당 건물의 중복도가 달라질 수 있어 이를 고려하여 촬영할 필요가 있다.




Fig. 5. Distortion of 3D model

4.1.3 수자원 데이터 LoD 분석

수자원 데이터는 호안, 제방 및 하천면을 대상으로 세밀도를 분석하였다. 호안, 제방 및 하천면은 Table 7과 같이 실사 영상 텍스처를 포함하고 사면, 하천면을 모두 표현하고 있어 세밀도 Level 4의 3차원 모델 제작이 가능하였다.

Table 7. LoDs in water resource data

Features	LoD	3D model
revetment & levee	Level 3	

4.2 정량적 분석

4.2.1 검사점 정확도 분석

연구 대상지별 검사점을 이용하여 정확도를 분석하였다. 검사점 좌표를 Network RTK-VRS로 취득하여 3차원 모델에서 추출한 좌표와 비교하였다. 그림 2의 연구대상지 A, B, C의 각 지역의 검사점에 대한 정확도 분석 결과 Table 8과 같이 평균오차가 평면에서 0.042~0.059

m, 표고에서 0.050~0.161 m로 나타났다. 동일 기체, 고도, 중복도로 촬영한 A, B의 정확도는 비슷하게 나타났으나 일부 검사점의 경우 Fig. 6과 같이 A지역보다 B지역이 경사가 급해서 동일 고도로 촬영하였다 하더라도 일부 구간은 촬영고도가 높아져 지형적 특성에 의한 오차가 발생하였다. 특히, 해상도가 비교적 낮은 센서로 촬영한 C지역의 경우 표고의 평균오차가 10 cm 이상 나타났다. 한편, 정확도 분석에 사용한 검사점의 경우 평면에 설치한 지점을 이용한 것으로 고저차가 있는 지형·지물에 대한 정확도는 오차가 더 크게 나타날 것으로 판단된다.

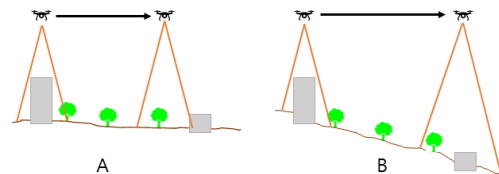


Fig. 6. Altitude changes according to the different terrain slope

4.2.2 지형·지물을 이용한 정확도 분석

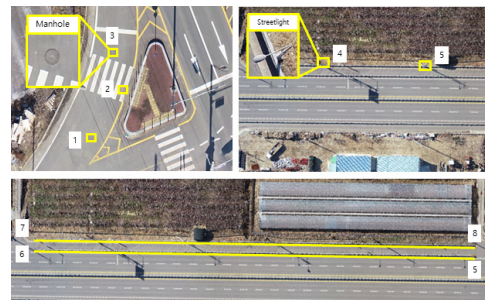


Fig. 7. Objects for 3D coordinates extraction

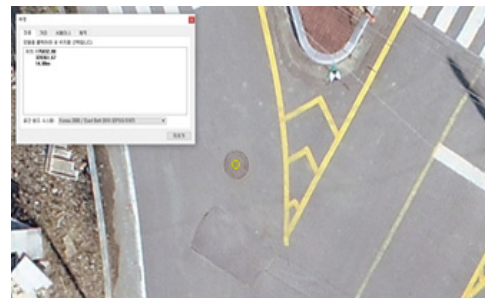


Fig. 8. Extraction of 3D coordinate using viewer

Table 8. Comparison of CPs coordinates between field survey and 3D model

(unit: m)

Area	Sort	Field survey (A)			3D model (B)			(A) - (B)	
		X	Y	Z	X	Y	Z	ΔXY	ΔZ
A	CP1	320326.306	175786.293	15.372	320326.300	175786.320	15.450	0.028	-0.078
	CP2	319908.295	175464.140	25.658	319908.290	175464.120	25.670	0.021	-0.012
	CP3	319905.588	175682.361	22.126	319905.610	175682.370	22.260	0.024	-0.134
	CP4	319641.904	175170.387	37.876	319641.920	175170.410	37.910	0.028	-0.034
	CP5	319990.213	175111.190	33.266	319990.230	175111.290	33.230	0.101	0.036
	CP6	319988.799	175115.079	33.245	319988.850	175115.090	33.210	0.052	0.035
	CP7	320361.727	175836.349	14.971	320361.750	175836.380	14.990	0.039	-0.019
Average error								0.042	0.050
B	CP1	279818.922	196964.518	85.963	279818.950	196964.530	86.020	0.030	-0.057
	CP2	279726.530	196819.280	61.433	279726.540	196819.240	61.480	0.041	-0.047
	CP3	279889.134	196982.227	87.416	279889.080	196982.150	87.460	0.094	-0.044
	CP4	279723.506	196881.194	56.817	279723.520	196881.160	56.740	0.037	0.077
Average error								0.051	0.056
C	CP1	301637.103	222018.146	7.710	301637.080	222018.210	7.840	0.068	-0.130
	CP2	301813.379	221859.242	10.256	301813.410	221859.200	10.390	0.052	-0.134
	CP3	301921.156	221976.621	17.622	301921.180	221976.570	17.840	0.056	-0.218
Average error								0.059	0.161

Table 9. Accuracy analysis of 3D positioning by each object

(unit: m)

Sort		Field surveying (A)			3D model (B)			(A) - (B)	
		X	Y	Z	X	Y	Z	ΔXY	ΔZ
manhole	P1	320361.645	175832.079	14.855	320361.670	175832.080	14.880	0.025	-0.025
	P2	320367.012	175835.813	14.887	320367.060	175835.830	14.960	0.051	-0.073
	P3	320371.037	175834.754	14.917	320371.080	175834.750	14.920	0.043	-0.003
street light	P4	320232.623	175893.827	14.591	320232.590	175893.800	14.700	0.043	-0.109
	P5	320196.648	175908.490	14.501	320196.620	175908.430	14.600	0.066	-0.099
guard rail	P6	320249.436	175891.170	15.238	320249.390	175891.210	15.290	0.061	-0.052
	P7	320064.189	175966.966	17.179	320064.100	175966.970	17.110	0.089	0.069
	P8	320062.771	175963.616	17.05	320062.790	175963.540	17.080	0.078	-0.030
	P9	320248.734	175887.662	15.156	320248.580	175887.700	14.980	0.159	0.176
Average error								0.068	0.071

지형·지물을 이용한 3차원 위치정확도는 대상지 A에서 현장 측량으로 취득한 3차원 좌표를 3차원 모델에서 추출한 좌표와 비교하여 분석하였다. Fig. 7은 3차원 좌표를 취득한 지형·지물을 나타낸 것이며 Fig. 8은 3차원 모델에서 3차원 좌표를 취득하는 모습을 나타낸 것이다. 더 세밀한 정확도 분석을 위하여 A대상지에 위치한 맨홀, 가로등, 가드레일 양 끝점에 대한 현장측량 성과와 3차원 모델 추출 성과를 비교한 결과 Table 9와 같이 평균오차가 평면에서 0.068 m, 표고에서 0.071 m로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 무인항공사진측량으로 제작된 3차원 모델을 정성적, 정량적으로 분석하여 3차원 국토공간정보 제작 가능성을 판단하고자 하였다. 정량적 분석은 검사점의 현장측량 3차원 좌표와 3차원 모델에서 추출한 좌표를 비교하여 분석하였으며, 일부 지형·지물의 3차원 좌표를 취득하여 분석하였다. 정성적 분석은 국토지리정보원에서 고시한 「3차원 국토공간정보구축작업규정」의 세밀도를 기준으로 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 교통 데이터의 세밀도 분석결과 도로와 같은 평면상의 지형은 Level 3의 높은 세밀도를 나타냈지만 교

량과 같이 고저차가 있는 구조물, 폐색지역이 발생 되는 구조물의 경우 세밀도가 Level 1~2로 현저히 저하되는 것을 확인 할 수 있었다.

둘째, 건물 데이터의 세밀도는 구조가 복잡한 주택이나 고층 건물의 경우 폐색지역 및 시차 등으로 인하여 Level 2의 낮은 세밀도를 나타내었으며, 구조가 간단하고 저층인 건물의 경우 비교적 높은 세밀도 Level 3을 나타냈다.

셋째, 수자원 데이터는 전체적인 형상 및 하천면 또한 잘 표현되어 Level 4의 3차원 모델 제작이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 하천면은 폭이 좁은 하천을 대상으로 하였으므로 폭이 넓은 하천의 경우 특징점이 부족하여 수표면이 높은 세밀도로 구현되지 않을 수 있을 것으로 보인다.

넷째, 검사점을 이용하여 정확도를 분석한 결과 C지역에서의 표고오차가 비교적 크게 나타났다. A, B 지역과 C지역의 표고오차의 차이는 영상 간 특성 차이가 가장 큰 GSD로 인한 결과로 사료되며 각 지역의 평면, 표고의 평균오차를 비교하였을 때 GSD의 영향이 평면 보다 표고오차에 더 크게 미치는 것으로 판단된다. 또한 A 지역의 지형·지물 정확도는 평면과 표고 모두 평균오차가 8 cm 이하로 나타나 활용성이 높을 것으로 보인다.

따라서, 무인항공영상을 이용하여 제작한 3차원 모델은 정성적인 세밀도 분석과 정량적인 정확도 분석 결과로 보았을 때 디지털 트윈, 경사도 분석 및 BIM 분야 등에 활용 가능성이 있다고 판단된다.

하지만 본 연구는 수직사진을 이용하여 분석한 결과로 추후 경사사진 및 보다 높은 GSD의 영상을 이용하여 3차원 모델을 제작하고 분석할 필요가 있다.

References

- [1] J. O. Lee, D. P. Kim, "Analysis of three dimensional positioning accuracy of vectorization using UAV-Photogrammetry", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.37, No.6, pp.525-533, Dec. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.7848/ksgepc.2019.37.6.525>
- [2] J. O. Lee, S. M. Sung, "Accuracy analysis of boundary determination in dwelling site according to different placement of boundary point using UAV photogrammetry", *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol.32, No.3, pp.123-134, Dec. 2016.
- [3] D. P. Kim, *Accuracy analysis of feature collection methods using UAV-photogrammetry*, Master's thesis, Dong-A University, Busan, Korea, pp.1-69, 2019.
- [4] K. H. Lee, S. E. Hong, "Building boundary extraction and registration of cadastral re-survey project using UAV 3D modelling image", *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol.4, No.1, pp.197-209, Apr. 2020.
- [5] S. Michal, T. Alicja, L. Paulina, "Comparative analysis of 3D models made with various technologies on the example of altar in the Wang temple in Karpacz", *Baltic Geodetic Congress*, Computer Science, Gdansk, Poland, pp.116-120, Jun. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/BGC.Geomatics.2017.17>
- [6] J. K. Park, K. Y. Jung, "3D model generation and accuracy evaluation using unmanned aerial oblique image", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.3, pp.587-593, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.3.587>
- [7] National Geographic Information Institute (NGII), Regulation for the 3D Land Space Information Construction, NGII, Korea, pp.9-16.
- [8] M. J. Westoby, J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey, J. M. Reynolds, "'Structure - from - Motion' photogrammetry: A low - cost, effective tool for geoscience application", *Geomorphology*, Vol.179, pp.300-314, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- [9] K. Johnson, E. Nissen, S. Saripalli, J. R. Arrowsmith, P. McGarey, K. Scharer, P. Williams, K. Blisniuk, "Rapid mapping of ultrafine fault zone topography with structure from motion", *Geosphere*, Vol.10, No.5, pp.969-986, Oct. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1130/GES01017.1>
- [10] E. Nissen, Introduction to Structure from Motion (SfM) Photogrammetry for Earth Science Research and Education short course[Internet], UNAVCO, c2016 [cited 2016 September 27], Available From: <https://kb.unavco.org/kb/article/2016-gsa-introduction-to-structure-from-motion-sfm-photogrammetry-for-earth-science-research-and-education-short-course-859.html> (accessed Jul. 27, 2020)
- [11] K. J. Bae, H. J. Jun, "A Case Study on LOD(Level of Development) studies for BIM Model", *InfoDESIGN ISSUE30*, Vol.10, No.5, pp.31-43, Oct. 2011.
- [12] D. J. Kim, "Dynamic LOD of prediction based measures in the flight simulator", Master's thesis, Gyeongsang National University, Gyeongnam, Korea, pp.1-34, 2016.

이 재 원(Jae-One Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 독일 Hannover 대학교 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2006년 2월 : 대한 측량협회(現:공간정보산업협회) 연구개발실장

- 2006년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수

〈관심분야〉

측량학, 사진측량

김 두 표(Doo-Pyo Kim)

[정회원]



- 2019년 8월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (박사과정)

〈관심분야〉

측량학, 사진측량

성 상 민(Sang-Min Sung)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)

〈관심분야〉

측량학, 사진측량